



**Otto-von-Guericke-Universität
Magdeburg**

Fakultät für Informatik
Institut für Simulation und Graphik



Fraunhofer Institut
Fabrikbetrieb
und -automatisierung

Hauptabteilung VDT
Abteilung Virtuelle Entwicklung

Master's Thesis

*„Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung
zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung“*

vorgelegt von

Ingmar Franke

Matr.-Nr. 161412
geb. am: 09. Februar 1976
in: Magdeburg

Prüfer:	Prof. Dr. T. Strothotte
Betreuer:	Dr. S. Schlechtweg Dr. E. Blümel (Fraunhofer IFF - VDT)
Themenvergabe:	01.05.2002
Abgabetermin:	29.11.2002

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit allein und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Magdeburg, den 29. November 2002

.....
Ingmar Franke

Vorwort

Die vorliegende Arbeit geht zurück auf das im Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) durch die Landeshauptstadt Magdeburg (Stadtplanungsamt) in Auftrag gegebene Projekt der Realisierung eines virtuellen Stadtmodells der Gebiete Magdeburg Altstadt und Neu-Olvenstedt für die Zwecke der Stadtplanung. Sie entstand während meiner Tätigkeit als Student an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg - Fakultät für Informatik - Institut für Simulation und Graphik (ISG) und als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Fraunhofer Gesellschaft - IFF - Abteilung Virtuelle Entwicklung (VD).

Persönlich möchte ich mich bei Prof. Dr. Thomas Strothotte (ISG) als Prüfer für die Annahme des Themas und bei Dr. Eberhard Blümel (VD) als Vorgesetzten für seine Unterstützung bedanken. Mein Dank gilt Dr. Stefan Schlechtweg (ISG) für seine fachliche Betreuung und seine stetige Bereitwilligkeit, mich bei dieser Arbeit zu unterstützen. Des Weiteren möchte ich mich bei Dr. Axel Hintze (VS) für seine technischen Hilfestellungen und Hinweise und bei Robert Sturek (VD) für sein mir entgegengebrachtes Verständnis, welches ich manches Mal in Anspruch nahm, bedanken.

Besondere Unterstützung habe ich während dieser Arbeit durch meine Familie erfahren. Dafür möchte ich meinen Eltern und meiner Freundin danken. Schließlich gilt meine Dankbarkeit auch allen meinen FreundInnen und BekantInnen, die ihren Teil zum Gelingen dieser Arbeit, beigetragen haben.

Ingmar Franke
Magdeburg, den 29.November 2002

Kurzfassung

Die gegenwärtigen Möglichkeiten der 3D-Computergrafik, insbesondere der Visualisierung und interaktiven Manipulation virtueller Welten, sind schon länger ins Blickfeld geraten. Eine, dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen angepasste Technik, verbessert und erleichtert dabei das Verstehen komplexer mehrdimensionaler Strukturen wesentlich.

Diese Arbeit zeigt einen Weg der Realisierung eines 3D-Stadtmodells als neuartiges Werkzeug für die Stadtplanung auf, welches einerseits neue Methoden des interaktiven Stadtplanens einräumt und andererseits interessante Perspektiven für den menschlichen Sinn aufzeigt.

Zunächst sind stadtplanerische und computergrafische Grundlagen erläutert und daraus Anforderungen an ein virtuelles Stadtmodell abgeleitet. Anschließend werden einige im Kontext stehende Arbeiten betrachtet. Der Schwerpunkt der Arbeit beschäftigt sich mit der Aufstellung einer Methodik für die semiautomatische Erstellung eines dreidimensionalen Stadtszenarios zum Zwecke der virtuellen Stadtplanung. Hierfür werden diverse bestehende Daten- und Informationsbestände analysiert und hinsichtlich ihrer Eignung für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells bewertet. Im Weiteren werden diesbezüglich angewandte Datenbeispiele und Visualisierungsergebnisse vorgestellt. Besonderer Wert wird insgesamt auf die Fortführung bzw. die Wiederverwendbarkeit des 3D-Stadtmodells gelegt, um spätere Ergänzungen von größeren Bestandteilen zu gewährleisten. Zum Schluss wird das Ergebnis bewertet und daraus erwachsene forschungsrelevante Ausblicke aufgezeigt.

Abstract

Current possibilities of 3D computer graphics, especially visualization techniques and interactive manipulation of virtual worlds, have been in the centre of interest for some time now. Using techniques which are based on human perception increases and eases the understanding of complex multidimensional structures.

This thesis shows one possibility to create a 3D city model to be used as a new tool in urban planning. This model, on the one hand, creates new possibilities for urban planning and, on the other hand, offers new and interesting perspectives for human viewers.

In the beginning, basics from urban planning and computer graphics are explained and requirements for a virtual city model are derived. In the following, related research works are considered. The main part of the thesis deals with the development of a methodology for a semi-automatic design of a three-dimensional city model that can be used for urban planning tasks. A number of existing data and information sources are analysed and evaluated regarding their usability for the creation of a 3D city model. Data and visualization results are presented. Altogether, great importance is set to the continuation and re-use of the created city model in order to ensure the maintenance of the model later on. Finally, the result of the thesis is evaluated and some ideas for future work are presented.

Herkunftsort und Projektteam

Als Herkunft der entwickelten und benutzten Methodik ist in seiner Gesamtheit das Fraunhofer Institut IFF unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil Michael Schenk, Hauptabteilung Virtual Development and Training (VDT) unter der Leitung von Dr. rer. nat. Eberhard Blümel zu nennen. Das Projektteam der Stadtvisualisierung von Magdeburg der Bereich Altstadt und Neu-Olvenstedt setzt sich wie folgt zusammen:

Projektleiter:	Dipl.-Ing. R. Sturek
Entwicklung & Fachliche Betreuung:	Dr. rer. nat. A. Hintze
Wissenschaftliche Mitarbeiter:	Dipl.-Ing. Arch. (FH) A. Höpfner Dipl.-Ing. Arch. (FH) I. Franke
Hilfswissenschaftliche Mitarbeiter:	Daniel Sohn Rocco Riens

Des Weiteren wurde bei der Realisierung mit der Hauptabteilung Automatisierung (AUT) des Fraunhofer IFF zusammengearbeitet.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	2
1.2	Ziel der Arbeit	4
1.3	Ergebnisse der Arbeit	4
1.4	Gliederung der Arbeit	5
2	Grundlagen, Ermittlung und Einordnung	7
2.1	Stadtplanung	7
2.2	Virtuelle Stadtplanung	11
2.3	Anforderungen an Modelle für die virtuelle Stadtplanung	14
2.3.1	Recherche	14
2.3.2	Auswertung - Matrix	16
2.3.3	Eignungsuntersuchung von Visualisierungs- und Modellierungssystemen	21
3	Themenverwandte Arbeiten	25
3.1	Stadtvisualisierungsprojekte - Vancouver und Straßburg	25
3.2	Prozedurales Modellieren von Städten	27
3.3	GIS Daten als Grundlage für 3D-Stadtmodelle	29
3.4	Fotogrammetrie als Grundlage für 3D-Stadtmodelle	31
3.5	Stadtplanung im Unterhaltungsbereich	33
3.6	Zusammenfassung, Auswertung, Schlussfolgerung	35
3.7	Virtuelle Realität - Technik in der Produktentwicklung	36
4	Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung	41
4.1	Terrain	44
4.1.1	Digitales Geländemodell	44
4.1.2	Generierungsmethodik Terrain	47
4.2	Bauwerke	49
4.2.1	Digitale Stadtgrundkarte	49
4.2.2	Level of Detail - bautechnisch	55
4.2.3	Generierungsmethodik Bauwerke	57
4.3	Vegetation	65
4.3.1	Digitales Baumkataster	65
4.3.2	Generierungsmethodik Vegetation	68
4.4	Weitere Bestandteile	71
4.4.1	Kleinstinventar, Mobilien	71
4.4.2	Laternen, Bordsteinkanten	72
4.4.3	Atmosphäre - virtuelle Szenariogrenzen	75
4.5	Integration aller Bestandteile zu einem 3D-Stadtmodell	76
4.5.1	Höhenzuweisung	77
4.5.2	Datenstruktur - Szenariofile	78
4.5.3	Level of Detail - computergrafisch	80
4.6	Zusammenfassung	81
4.7	Visualisierungssystem	83
4.8	Erkenntnisse und Auswertung	84

5 Ergebnisse der angewandten Methodik an Beispielen	87
5.1 Terrainmodelle	89
5.2 Bauwerksmodelle	89
5.3 Vegetationsmodelle	93
5.4 Weitere Modelle	94
5.5 3D-Stadtmodelle	96
5.6 VR-Stadtplanung in der Praxis	99
6 Zusammenfassung und Ausblick	101
6.1 Zusammenfassung	101
6.2 Gesellschaftliche Einordnung - Allgemeine Visualistik	103
6.3 Ausblick	104
Literaturverzeichnis	109
Abbildungsverzeichnis	111
Tabellenverzeichnis	113
Anhang A - Gesprächspartner	114
Anhang B - Ebenenbelegung der dSGK	115
Anhang C - Neu-Olvenstedt Szenariofile	116
Anhang D - Gebäudemodell (OBJ)	117
Anhang E - Materialbibliothek (MTL)	119

Abkürzungsverzeichnis

*.avi / AVI	Audio - Video - Datei (Microsoft)
*.dgn / DGN	Zeichnungsdateientyp (ISFF) von Microstation®
*.dxf / DXF	Drawing Exchange Format von Autodesk für AutoCAD®
*.etf / EtF	Elemente-zu-Fassade (element-to-facade)
*.mtl / MTL	Materialbibliothek zu OBJ
*.obj / OBJ	Alias Wavefront Objektdatei
*.pbg / PBg	Prismatische Gebäudedatei (prismatic building)
*.rgb / RGB(A)	Texturdatei - Rot-, Gelb-, Blau-, Alpha-Kanal zu OBJ
3D-SM	dreidimensionales Stadtmodell
ASCII	Zeichenkode - American Standard Code of Information Interchange
BK	Baumkataster
CAD	Computer Aided Design
CCD	ladungsgekoppelte Halbleiterelemente (Charged Coupled Devices)
dBK	digitales Baumkataster
DGM	digitales Geländemodell
DHM	digitales Höhenmodell
DIN	Deutsche Industrie Norm
DLT	direkte lineare Transformation
dSGK	digitale Stadtgrundkarte
GM	Geländemodell
GUI	grafische Benutzeroberfläche (graphical user interface)
HFP	Höhenfestpunkte
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
ISDN	Dienste integrierendes digitales Netz
ISFF	Intergraph Standart File Format
ISO	International Organization for Standardization
L.Ph.	Leistungsphase
LoD	Level of Detail
NN	Normalnull, Ausgangsfläche für Höhenangaben, mittleren Meereswasserstand
PpM	Pixel pro Meter
Q500	ein Teil der dSGK, Dimensionierung 500x500m
SGK	Stadtgrundkarte
TGL	Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (DDR)
VR	Virtuelle Realität
VR-3D-SM	dreidimensionales Stadtmodell + VR Methoden

Einleitung

Derzeitig präsentiert sich die Städtebaulandschaft - ebenso wie andere schöpferische Bereiche z.B.: Literatur, Industriedesign oder Mode - in äußerst vielschichtiger Komplexität. Dabei gelingt es der Stadtplanung nicht immer, eindeutige und charakteristische Merkmale aufzuweisen, die das komplexe Netzwerk einer Stadt entwirren könnten.

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine Methodik zur semiautomatisierten Erstellung eines dreidimensionalen computergrafischen Modells ganzer Stadtgebiete, die im Detaillierungsgrad dem Anspruch der Stadtplanung entsprechen. Begründet ist diese Arbeit in der Absicht des Stadtplanungsamtes der Landeshauptstadt Magdeburg, ein innovatives Werkzeug für die Stadtplanung zu erhalten. Insofern sind große Teile aus dem historisch gewachsenen Gefüge der Stadt, bestehend aus: Gebäuden, städtebaulichen Anlagen, Grünflächen, Verkehrsbauten, Besonderheiten usw., darzustellen.

Für die Verwirklichung dieses Wunsches wurde das Fraunhofer Institut Fabrikplanung und -automatisierung berufen, ein virtuelles Stadtmodell für die Stadt Magdeburg in den Bereichen Altstadt und Neu-Olvenstedt zu entwickeln. Mit Hilfe dieses Modells sollen Planungsbeteiligte befähigt werden, bauliche Veränderungen bzw. Ergänzungen sofort visuell umsetzen zu können. Gleichzeitig stellt dieses Planungsmittel einen wichtigen Beitrag zu dem von der Bundesregierung Deutschland ausgelobten Wettbewerb *Stadtumbau Ost* dar.

Ausgangspunkt für die *städteplanerische Relevanz* dieser Arbeit ist die gegenwärtige demografische¹ Situation, in der sich die Stadt befindet und die die zukünftigen Aufgabenfelder der Stadtplanung bestimmen. So ist eines der aktuellen Themen der Stadtplanung die Stadtflucht - urban sprawl² - und ihre Ursachen und Folgen bzw. dementsprechend die Ergreifung von Gegenmaßnahmen. Eine dieser Gegenmaßnahmen kann die Nutzung neuer Instrumente für die Stadtplanung sein, z.B.: die virtuelle Stadtplanung.

¹ Bevölkerungswissenschaft, Beschreibung der wirtschafts- und sozialpolitischen Bevölkerungsbewegung

² Ausweitung der Stadtgrenzen bzw. ihrer umliegenden Siedlungen; Zersiedelung der Landschaft; Stärkung der Region (vgl. DeGeyter, 2002)

1.1 Motivation

Jede Planung wird durch bestimmte Zustände und Verhaltensweisen ausgelöst. Zustände und Verhaltensweisen die aus Ablehnung, Missfallen und Veränderungswünschen hervorgerufen wurden oder abzusehen sind. Dies setzt, wie in Abbildung 1 dargestellt, voraus, dass Planer oder andere Personen die Umwelt beobachten und die Fülle von vorhandenen Informationen wahrnehmen und beurteilen. Die Abgrenzung von so erkannten Problemen erweist sich oft als schwierig. Diffizil ist es vor allem, Kriterien zu definieren, die später die Rahmenbedingungen für die Planung darstellen.

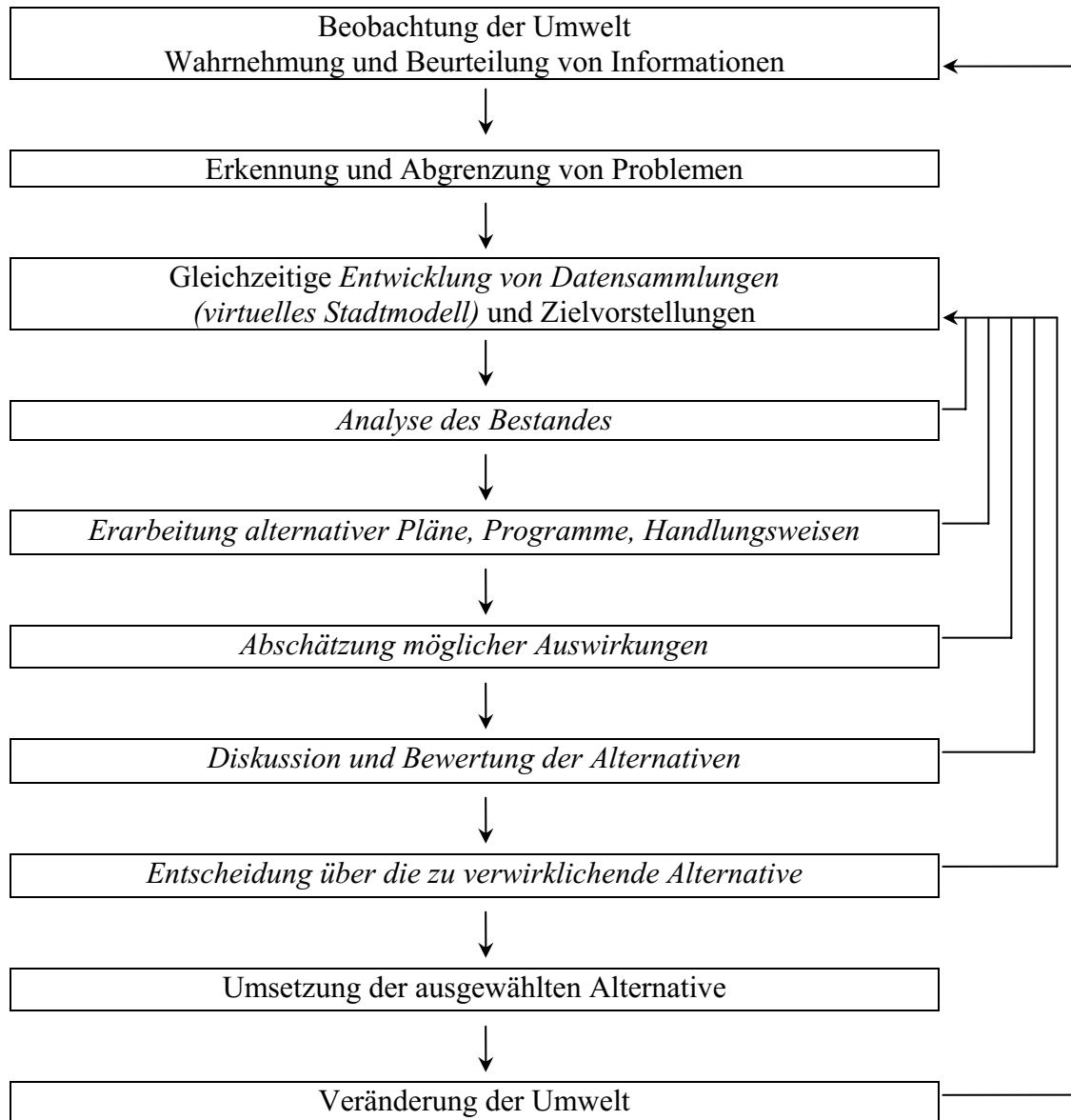


Abbildung 1: Ablauf einer Planung auf Basis eines virtuellen Stadtmodells - städteplanerischer Entwicklungszyklus (vgl. Braam, 1987, S.18)

Um einen unangemessen hohen Aufwand für die Erhebung und Analyse der zur Bestandsaufnahme benötigten Daten zu vermeiden, ist es zweckmäßig, eine stets sich selbst aktualisierende Datensammlung zu entwickeln. Diese könnte den Ist-Zustand, zusammen mit einem beliebigen Soll-Zustand (Planungszustand), in einer virtuellen Realität repräsentieren.

Mit diesem Instrument könnten Zielvorstellungen über das Ergebnis einer Planung entwickelt werden. Derartige Zielvorstellungen sind in der Regel nicht einmal festgelegte, feste Vorgaben, sondern unterliegen stets gewissen Veränderungen, die aus Randbedingungen resultieren (siehe Abbildung 1, S.2). Bei der zu entwickelnden Datensammlung (VR-Modell) ist darauf zu achten, dass nur die zur Erfassung der bestehenden Zustände notwendigen, aussagekräftigen und gültigen Angaben erhoben werden, um deren Objektivität zu gewährleisten. Die Aussage der entsprechenden Daten beinhaltet immer auch die Gefahr der subjektiven Manipulation, indem „unpassende“ Informationen weggelassen werden können.

Eine Analyse der bestehenden und zukünftigen Situation kann nur auf Grundlage von sorgfältig zusammengetragenen Daten und deren objektiver Weiterverwendung für die Planung erfolgen. Ziel der Arbeit ist es, Abhängigkeiten, Wechselwirkungen und Zusammenhänge zwischen den erfassten Randbedingungen und Einflussgrößen, durch ein virtuelles Stadtmodell zu erkennen und darauf aufbauend die notwendigen Maßnahmen zu evaluieren und zu bestimmen. Ein virtuelles Stadtmodell kann in seiner Funktion Nacherhebungen³ vermeiden oder zumindest reduzieren, die ansonsten durch eine unzureichende Datenlage entstehen können, die wiederum auf unvollständig durchgeführten Analysen basieren.

Zur objektiven Bewältigung von Planungsaufgaben gibt es i. Allg. mehrere Möglichkeiten. Es ist zweckmäßig - und teilweise gesetzlich vorgeschrieben⁴ - alternative Planungen, Programme und / oder Handlungsweisen zu erarbeiten. Durch die Verwendung eines virtuellen Stadtmodells werden diese Prozesse unterstützt und erfahrungsgemäß kommt man durch sorgfältige Abwägung aller Fragen bzw. Belange gerade über eine interaktive Visualisierung zu besseren Ergebnissen. Mit einem virtuellen Stadtmodell ist es dabei möglich, Alternativen abzuschätzen, einer sachbezogenen Wertung zu unterziehen und diese der Bevölkerung zu veranschaulichen. Auf der Basis eines virtuellen Stadtmodells als Kommunikationsschnittstelle und Entscheidungsmittel⁵ ist eine ausführliche Diskussion und Beurteilung von alternativen Planungskonzepten möglich.

Letztendlich kann nach Abschluss dieser Diskussion eine Entscheidung darüber getroffen werden, welcher Vorschlag als der Beste anzunehmen ist und realisiert wird. Ohne ein virtuelles Stadtmodell ist es i. d. R. nach Umsetzung der ausgewählten Alternative notwendig, deren Auswirkungen und Verbesserungen in der Realität zu prüfen und festzustellen, ob sich ggf. (meist unerwünschte) städtebauliche Nebeneffekte eingestellt haben. Ein virtuelles Stadtmodell würde die genannten Effekte schon im Vorfeld der Realisierung erkennen und stärken bzw. vermindern können.

Ein virtuelles Stadtmodell als Instrumentarium der Stadtplanung muss sich den ständig ändernden Rahmenbedingungen anpassen und dementsprechend automatisiert gepflegt und gewartet werden, um als realitätsnahes Planungswerkzeug stets den aktuellen Anforderungen zu entsprechen.

³ Nacherhebungen werden auch vorsätzlich als taktisches Mittel zur Verzögerung von Planungsumsetzungen missbraucht.

⁴ Eine solche Regelung findet sich zum Beispiel in §2a Bundesbaugesetz. Danach hat die Gemeinde die allgemeinen Ziele und Zwecke der Bauleitung im Rahmen der Bürgerbeteiligung darzulegen. Soweit dabei verschiedene, sich wesentlich unterscheidende Lösungen für die Neugestaltung oder Entwicklung eines Gebietes in Betracht kommen, sind diese Alternativen den Bürgern vorzustellen.

⁵ Eine kritische Zusammenstellung derartiger Verfahren hat u. a. Hochstrate vorgelegt (vgl. Hochstrate, 1986).

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist eine Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung aufzustellen. Dabei soll das 3D-Stadtmodell zur effektiven Darstellung von zwei- und dreidimensionalen Ansichten dienen und eine virtuelle Reise durch die Stadt (Ist-Zustand) und durch städtebauliche Planungsvarianten (Soll-Kann-Zustand) ermöglichen, um bspw. die städtebauliche Wirkung von Rückbauten bereits vor der Realisierung abschätzen zu können (siehe Abbildung 2).



(a) Original



(b) nach Rückbau

Abbildung 2: Plattenbautyp WBS 70, Standort Merseburg-West (Ingenieurkammer Sachsen-Anhalt, Tagungsband zum Ingenieurtag Sachsen-Anhalt 2002: *Ingenieurleistungen - Planen und Bauen in Sachsen-Anhalt- Der Aufbau eines stabilen Absatzmarktes für gebrauchte Betonfertigteile*, S.38)

Dementsprechend muss das Modell sowohl eine hohe geometrische Genauigkeit als auch eine leichte kognitive Wiedererkennung aufweisen. Vorab sind jedoch die bisherigen Arbeitsweisen und Ergebnisse bzw. zukünftig anstehende Aufgaben der Stadtplanung aufzuspüren und abzuklären. Und daraus, sind u. a. die Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell als neuartiges Instrumentarium der Stadtplanung abzuleiten. Des Weiteren sind bisherige themenverwandte Arbeiten und Anwendungen zu ermitteln und zu bewerten.

Um das Ziel der Realisierung eines 3D-Stadtmodells zu erreichen, ist es notwendig, eine Zusammenstellung und eine Beschreibung der zur Erarbeitung des Datenmodells notwendigen Ausgangsdaten, Werkzeuge und Techniken auf Ebene der Computergrafik zu formulieren. Demzufolge ist ein Arbeitsablauf zur Modellerstellung zu entwickeln. Nicht zu letzt sind auch die Visualisierungstechniken und Darstellungsmöglichkeiten bzw. die Präsentationsmedien für die virtuelle Stadt zu beschreiben.

1.3 Ergebnisse der Arbeit

Mit Blick auf die Zielstellung des vorangegangenen Abschnittes, ist ein Ergebnis dieser Arbeit eine Strategie zur Realisierung eines dreidimensionalen Stadtmodells für die virtuelle Stadtplanung, unter dem Gesichtspunkt der computergraphischen und bautechnischen Gegebenheiten und Möglichkeiten. Untersetzung findet die Aufstellung der Methodik durch die Betrachtung von verwandten Arbeiten. Dabei wird gezeigt, dass eine

Verfahrensanweisung zur Erstellung eines solchen Modells von fundamentaler Wichtigkeit ist, da hierfür die verschiedensten Ausgangsdaten zur Verfügung stehen. Dementsprechend unterschiedlich ist die Herangehensweise zur Nutzung und Einpflegung dieser Informationen. Praktisch wird die Umsetzung der Methodik an mehreren Beispielen erprobt. Konkret konnten in dieser Arbeit die folgenden Ergebnisse erzielt werden:

- Mitarbeit an der Erarbeitung und der Aufstellung einer Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung.
- Die Aufstellung eines Kataloges, der die Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell formuliert, fokussiert und damit die technischen Rahmenbedingungen festlegt.
- Im Rahmen dieses Kataloges erfolgt u. a. die Sichtung und die Bewertung der Ausgangsdaten und der Informationen, die für die Erstellung solch eines Modells notwendig sind.
- Weiterhin wurden zusätzlich Methoden zu Erhöhung der Immersion eines 3D-Stadtmodells unter dem Gesichtspunkt der Datenoptimierung entwickelt und praktisch an Beispielen erprobt.
- In der Praxis wurde die interaktive Visualisierung der 3D-Stadtmodelle bereits in der realen Stadtplanung mit sehr guten Resultaten (Workshop mit Konsenslösung) und im Bereich der Bürgerinformation angewandt.

Somit konnte gerade durch zuletzt genannten Punkt gezeigt werden, dass im Bereich der Stadtplanung ein Bedarf besteht, der durch diese Arbeit bedient wurde. Des Weiteren konnte im Laufe der Bearbeitung des Themas festgestellt werden, dass die Ergebnisse auch für andere Bereiche, außerhalb der Stadtplanung, eine Grundlage sein können (z.B.: Katastrophenschutz, Stadtmarketing).

1.4 Gliederung der Arbeit

Die vorliegende Arbeit unterteilt sich in drei wesentliche Schwerpunkte:

- Begrifflichkeiten, Grundlagen und Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell
- Verwandte und im Kontext stehende Arbeiten und Anwendungen
- Methodik, weitere Bestandteile eines 3D-Stadtmodells und Ergebnisse

Im ersten Teil, dem Kapitel 2, erfolgt eine Einführung in die Begrifflichkeiten, die computergraphische und bautechnische Grundlagenermittlung und die Aufstellung der Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell, die in eine Matrix mündet.

Der zweite Schwerpunkt, Kapitel 3, beschäftigt sich mit der Sichtung und Bewertung von verwandten Arbeiten. Dabei werden die verschiedensten Gebiete betrachtet und insbesondere die Zusammenhänge und Unterschiede der einzelnen Vorgehensweisen und Zielstellungen festgestellt.

Die gewonnenen Erkenntnisse, Ergebnisse und Lösungen des dritten Kapitels fließen damit direkt in das Kapitel 4 ein, welches die Konzeption der Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung beschreibt. Dieser dritte Arbeitsabschnitt beinhaltet u. a. die Sichtung der Datenquellen und -bestände und deren Bewertung bzw. qualitative Einschätzung im Hinblick auf die Verwertbarkeit als Grundlage für das 3D-Stadtmodell. Im Weiteren beinhaltet dies auch die Festlegung der Modellhierarchie und der Bestandteile, aus denen ein 3D-Stadtmodell besteht. Das heißt, dass in diesen Abschnitten die Methodik in ihren Einzelschritten beschrieben und dargestellt wird. Im Ergebnis werden alle diese, in Stufen erstellten Modellbestandteile, in einem Gesamtmodell integriert und visualisiert. Darüber hinaus werden hier zusätzlich zur Gesamtmethodik weitere Möglichkeiten der Erhöhung der Immersion und der Optimierung des Speicherplatzbedarfs durch computergraphische „Tricks“ aufgezeigt und praktisch angewendet. Die Ergebnisse bei Anwendung der Methodik werden ihren Einzelschritten und in ihrer Integration im Kapitel 5 zusammen mit allen weiteren Bestandteilen eines 3D-Stadtmodells dargestellt.

Kapitel 6 fasst die Arbeit zusammen und liefert einen Ausblick auf weiterführende Arbeiten.

Grundlagen, Ermittlung und Einordnung

Um alle im vorherigen Kapitel detailliert genannten Ziele zu erreichen, ist eine sorgfältige Planung unbedingt notwendig. Grundvoraussetzung einer sorgfältigen Planung sind eine ausführliche Grundlagenermittlung, eine gründliche Einordnung von Zusammenhängen und eine Fokussierung der Anforderungen. Mit Worten des Bauwesens formuliert: Änderungen, Umentscheidungen und Nachbesserungen während der Realisierungsphase können zeitintensiver sein als die Planung an sich und zeugen von zu wenig Sachverstand und einem nicht durchdachten Konzept.

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels werden demzufolge relevante Begrifflichkeiten und Rahmenrichtlinien der Stadtplanung geklärt. Anschließend wird auf Basis einer Recherche und technischen Betrachtung ein Anforderungskatalog für eine städteplanerische Visualisierung erstellt. Mit einem Abriss über die Eignung von gängigen CAD-Produkten schließt das Kapitel ab.

2.1 Stadtplanung

Zwischen den Jahren 1905 und 1910 wurde ein neuer Begriff in Europa geprägt - Stadtplanung. Die Äquivalente heißen town planning (engl.), city planning (amerik.) und urbanisme (franz.). Der relativ enge *Prägungszeitraum* deutet auf Parallelen in der Art und Weise hin, wie sich die großen Industriestaaten mit der Entwicklung ihrer Städte auseinandersetzten. Frühläufer der Stadtplanung sind bereits Mitte des 19. Jahrhunderts vereinzelt aufzufinden (siehe Abbildung 3).

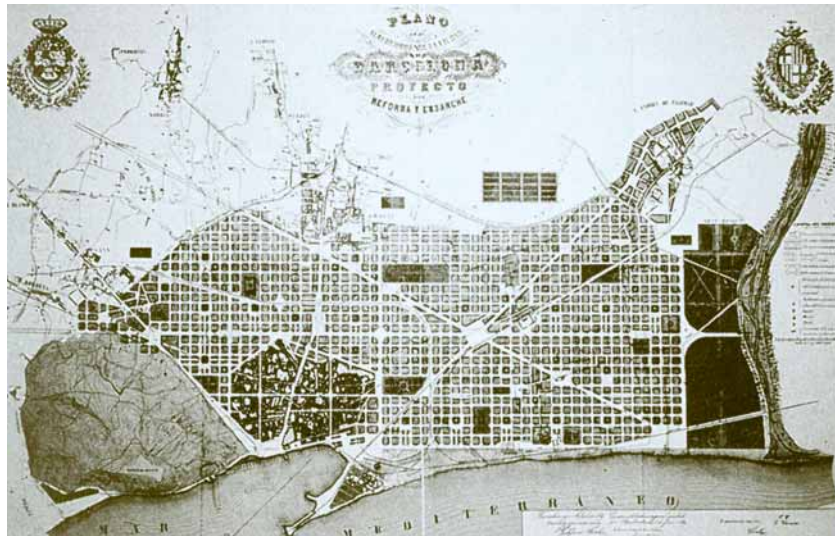


Abbildung 3: Stadterweiterungsplan für Barcelona von Idefonso Cerdá (1859)

Die *Entwicklung* der Stadtplanung in Europa weist eine interessante Mischung von Ähnlichkeiten und Unterschieden auf, die zunächst leicht zu erklären scheinen. Die Ähnlichkeiten sind unter anderem mit den vergleichbaren Auswirkungen der Industrialisierung der europäischen Länder und den damit verbundenen Problemen zu begründen. Die Unterschiede resultieren aus den legislativen (gesetzgebende), judikativen (richterliche), exekutiven (ausführende) Konstellationen⁶ und neuerdings auch aus medienpolitischen Suggestionen. Hinzu kamen jene Differenzen aus wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und sozialen Verhältnissen. Um die Erfahrungen der bisweilen anderen Nationen zu nutzen, wurden international fachliche Beziehungen geknüpft und gepflegt (vgl. Albers, 1997).

Das Tätigkeitsfeld und die Zielsetzung sowie die Rahmenbedingungen und die Konfliktbereiche der Stadtplanung lassen sich aus den beiden Begriffsingredienzien ableiten.

- Die *Stadt* ist ein komplexes Gebilde, ähnlich einer Maschine, das „...den Bedürfnissen und Wünschen materieller und immaterieller Art einer vielschichtigen Bürgerschaft Erfüllung bietet; das den sozialen und wirtschaftlichen, kulturellen und politischen Verhältnissen der jeweiligen Generation Entsprechung gibt; das aufgrund der lokalen Bedingungen von Standort und Klima seine Eigenart besitzt; das mit den technischen Mitteln der Zeit geschaffen wird ... Bewusst oder unbewusst arbeiten an ihrer Form und Gestalt alle jene Kräfte mit, die der Stadtgesellschaft angehören. In ihrer wandelnden Erscheinungsform ist die Stadt ein Abbild ihrer jeweiligen Gesellschaft...“ (Hillebrecht, 30/1975)
- Als *Planung* bezeichnet man die „...systematische Vorbereitung eines vernunftgemäßen Handelns von Einzelnen oder Gemeinschaften, um ein Ziel unter den gegebenen Verhältnissen auf die beste Weise zu erreichen...“ (FfSV, 1978).

Die Kombination dieser Definition lässt die möglichen Rahmenbedingungen und die Konfliktbereiche deutlich werden, mit denen Stadtplanung im Allgemeinen zu tun hat,

⁶ Konstellation - variable Mächtigkeit der staatlichen Grundkräfte

unabhängig welcher Art - eine kreisfreie oder -angehörige Stadt, eine Gemeinde, ein Stadtteil oder Ortsteil - die Stadt ist und meist auch unabhängig von der Einwohneranzahl und den Dimensionen ihres Volumens. Hinzu kommen allerlei Gesetze, Verordnungen, Richtlinien, Erlasse, Empfehlungen, Interessen und Meinungen. Die Abwägung und Wertung dieser Faktoren führt oft zu Zielkonflikten, die in der Praxis von der verantwortlichen Politik entschieden werden. Aufgabe der Stadtplanung ist die fundierte Bereitstellung von notwendigen Grundlagen und Entscheidungshilfen. Alle zur Beurteilung eines Sachverhaltes relevanten Kriterien müssen objektiv zusammengestellt und die zu erwartenden Auswirkungen, speziell von abweichenden Vorstellungen oder / und Alternativen, aufgezeigt werden (vgl. Braam, 1987).

Ein weiteres Spektrum der Stadtplanung ist die Weiterentwicklung der Stadt für ihre Bewohner und Besucher, d.h. für alle Benutzer, entsprechend den jeweiligen Kriterien - Bedürfnissen, Erfordernissen, Vorstellungen und Möglichkeiten. Dies beinhaltet nicht nur den Bau von Gebäuden, Anlagen und Einrichtungen, sondern vor allem auch die Umfeldverbesserung, den Erhalt (eventuell die Sicherung), die (Um-)Gestaltung und die Erneuerung von vorhandenen Elementen und Strukturen. Ein Beispiel einer verbesserten Freiraumgestaltung gegenüber damaliger zeitgenössischer Bauweise zeigt Abbildung 4.

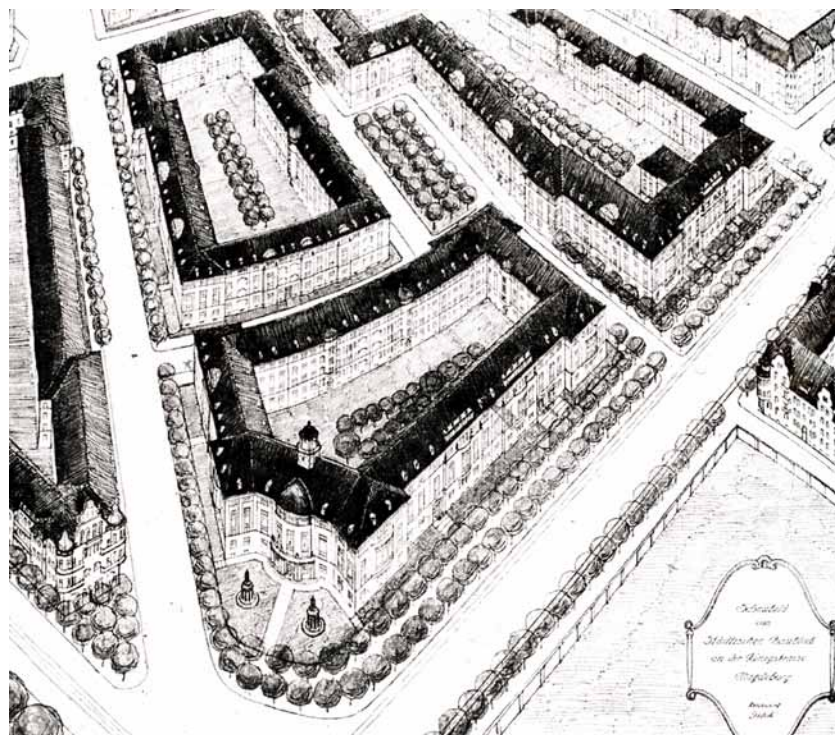


Abbildung 4: "Reformierte" Wohnblöcke mit inneren Freiflächen und auf räumliche Wirkungen gerichteter Straßenführung (Magdeburg, 1915)

Aus gegebenen Verhältnissen ergibt sich die Ausgangssituation für die Stadtplanung im konkreten Fall. Im Großen und Ganzen sind in Abbildung 5 Rahmenbedingungen und Aufgabenbereiche der Stadtplanung sowie deren Wechselwirkung zueinander dargestellt. Meist gehen Beweggründe von Einzelnen oder von Gemeinschaften (Parteien, Vereinen, Bürgerinitiativen etc.), von Institutionen (Verwaltungen, Behörden, Verbänden) und nicht zuletzt von den Planern selbst aus. Diese zur Veränderung der Situation herangetragenen Anstöße, Hinweise, Forderungen, hervorgerufen unter anderem aus erkannten oder

vermuteten Missständen und Mängeln, sind von der jeweilig zuständigen bzw. verantwortlichen Stelle der Stadtplanung anzunehmen, zu bewerten und ggf. umzusetzen. Angelegenheit dieser Stellen ist es, im Rahmen eines differenzierten Planungsprozesses⁷, alternative Vorstellungen und Maßnahmen zu entwickeln, die zur Lösung der auftretenden Problem- bzw. Fragestellungen geeignet sind. In der Praxis erstrecken sich solche Problem- bzw. Fragestellungen nicht nur auf einen einzelnen Aufgabenbereich, sondern schließen andere Bereiche ein. Beispiele sind: das Anlegen eines neuen Baugebietes, die erhaltende Pflege und Erneuerung von bestehenden Siedlungen und der Neu- oder Umbau von Verkehrsanlagen.

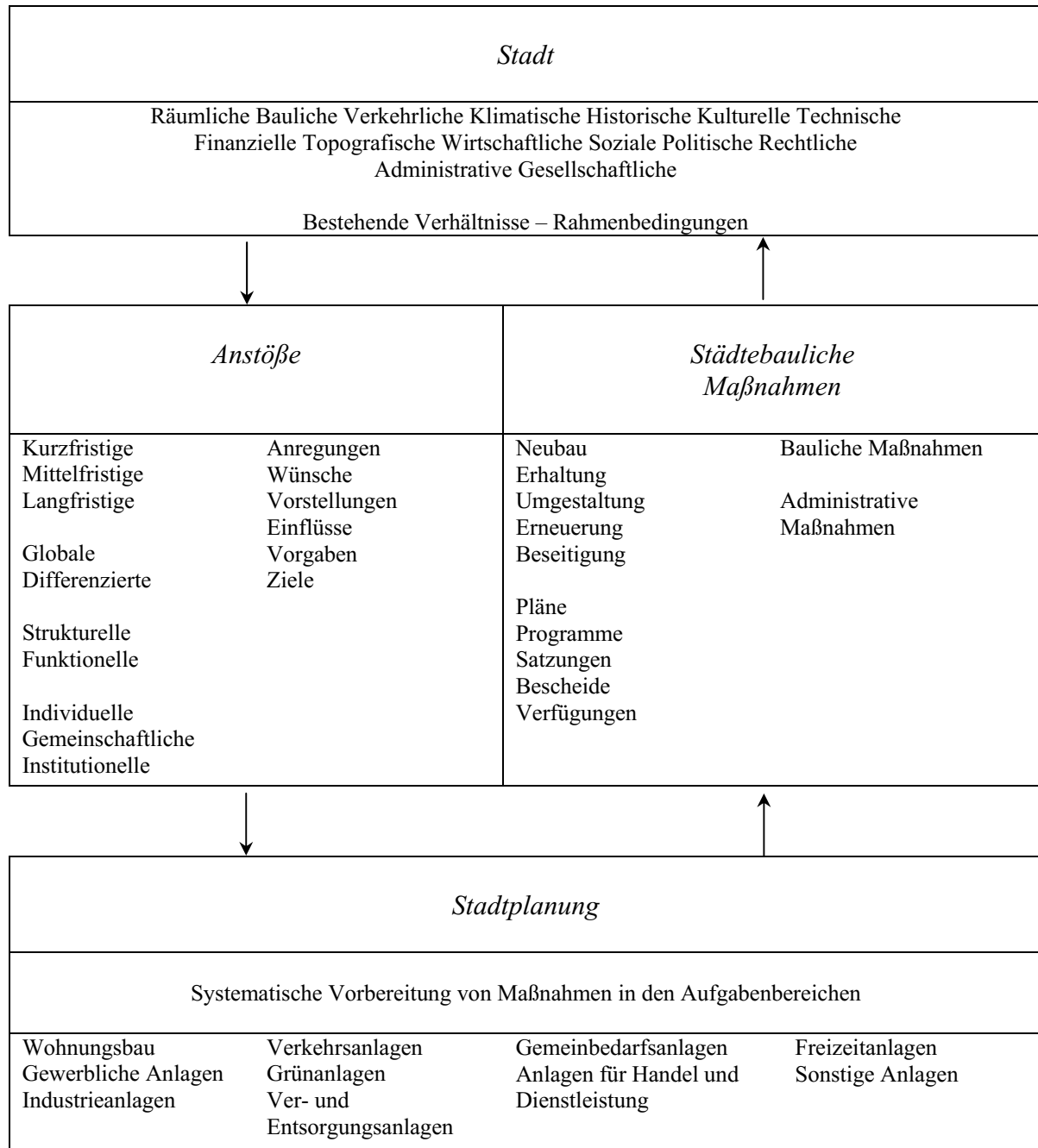


Abbildung 5: Rahmenbedingungen und Aufgabenbereiche der Stadtplanung (Braam, 1987, S.2)

⁷ Der Ablauf von Planungen wird detailliert in (Braam, 1987) in Teil A, Abschnitt 3, dargestellt und beschrieben.

Ein Stadtentwicklungskonzept⁸ beeinflusst bereits vor seiner Billigung durch die Entscheidungsträger die Entwicklung der Stadt, beispielsweise den Bodenpreis oder auch das Umzugverhalten⁹ der Bürger. Dieser hier in seinen wesentlichen Grundzügen dargestellte Prozess kennt kein Ende, solange Menschen in Siedlungen zusammenleben. Daher sind auch geplante bzw. durchgeführte Maßnahmen nur von bestimmter Dauer, die für eine gewisse Zeit keiner neuen Planungsüberlegung bedürfen. Jedoch sind Belange / Bedürfnisse in ihrer Lage und Zeit schwer vorauszusehen. Als bald treten neue Aufgabenbereiche hervor und müssen behandelt werden.

Stadtplanung, die in dieser aufgezeigten Weise durchgeführt werden soll, ist nicht von einer Disziplin zu bewältigen. Je nach Aufgabenbereich bedarf sie vielmehr der Zusammenarbeit von Bauingenieuren, Architekten, Freiraum- und Landschaftsplanern, Klimatologen, Denkmalschützern, Soziologen, Ökonomen, Juristen, Ökologen, Vermessungsingenieuren usw. Die jeweiligen Disziplinen haben in ihrer interdisziplinären Zusammenarbeit oft Kommunikationsprobleme (bspw. durch Nutzung unterschiedlicher Fach-Terminologien) und infolgedessen verschiedenartige und gegensätzliche Ansichten. Eine Möglichkeit aufzuzeigen, dieser Schwäche entgegen zu wirken, soll das Ziel dieser Arbeit sein. Durch die Benutzung eines *Virtuellen Stadtmodells* gibt es für die genannten und andere Disziplinen ein erweitertes Kommunikationsmittel - eine Schnittstelle - für die gegenseitige Abwägung von Maßnahmen und Findung von Kooperationen, ein neues Werkzeug für die Stadtplanung.

2.2 Virtuelle Stadtplanung

Gut 100 Jahre nach der Prägung des Begriffes Stadtplanung wird ein neues Kapitel geschrieben, die *virtuelle Stadtplanung*. Sie stellt mehr als nur ein Werkzeug für Städteplaner dar.

Schon in der Frühzeit der Stadtplanung nutzten Beteiligte eine Vielzahl von Kommunikationsmöglichkeiten - internationale Kongresse, Fachliteratur, Wettbewerbe und Studienreisen - zum Informationsaustausch über das Geschehen in den jeweiligen Ländern. In vielen Fällen lassen sich daraus im Nachgang erwachsene Einflüsse erkennen.

Durch die nahezu komplette Vernetzung¹⁰ unserer Gesellschaft werden oben genannte Kommunikationsmittel und -möglichkeiten erweitert bzw. kommen neue hinzu. Allein durch die Reduzierung der Kommunikationszeit und der Unabhängigkeit vom Standort kommt es zu direkten Synergieeffekten. So lassen sich beispielsweise jederzeit unter www.planet9.com viele Modellierungsergebnisse von virtuellen Städten finden und bei Bedarf vergleichen.

Daraus erwachsene Ansprüche und die Zielsetzung sowie versteckte Potenziale und Vorteile von virtuellen Städten lassen sich, in gleicher Art und Vorgehensweise zur Begriffsklärung der Stadtplanung, konkretisieren.

⁸ Der Arbeitsstab des Stadtrates von Magdeburg hat folgende Maßnahmen (vgl. MfWSV, 2002) in Betracht gezogen: Komplettabriss, Rückbau, Stilllegung und Umnutzung von Gebäuden bzw. Wohnungszusammenlegung innerhalb von Gebäuden.

⁹ Im Plattenbaugebiet Magdeburg Neu-Olvenstedt wird der Plan zum Programm Stadtumbau Ost geheim gehalten, um nicht die wirtschaftlichen Interessen von Eigentümern und Wohnungsbaugenossenschaften mit einem zu vermutenden, tief greifenden und nachhaltigen Zu- bzw. Wegzugsverhalten von Bewohnern zu gefährden.

¹⁰ Internet, Datennetze

VR - Virtuelle Realität (auch *Artificial Reality* oder *Cyberspace*), seit Mitte der 80er Jahre ein Begriff aus der Computerwissenschaft, realisiert eine Technik zur Interaktion mit rechnerunterstützten Systemen. Die VR-Technik ist ein System, dass dem Benutzer erlaubt, durch Interaktivität mit dem System in Echtzeit und mit dreidimensionalen Modellen und einer geeigneten Peripherie in diese einzutauchen und direkt zu manipulieren (siehe Abbildung 6). Im Idealfall wird der Betrachter in die vom Rechner generierten Szenen unmittelbar mit allen Sinnen in das Geschehen einbezogen. Hierbei wird in drei signifikante Begriffe unterschieden: Imagination, Immersion und Interaktivität (vgl. Wachsmuth et al., 1993).

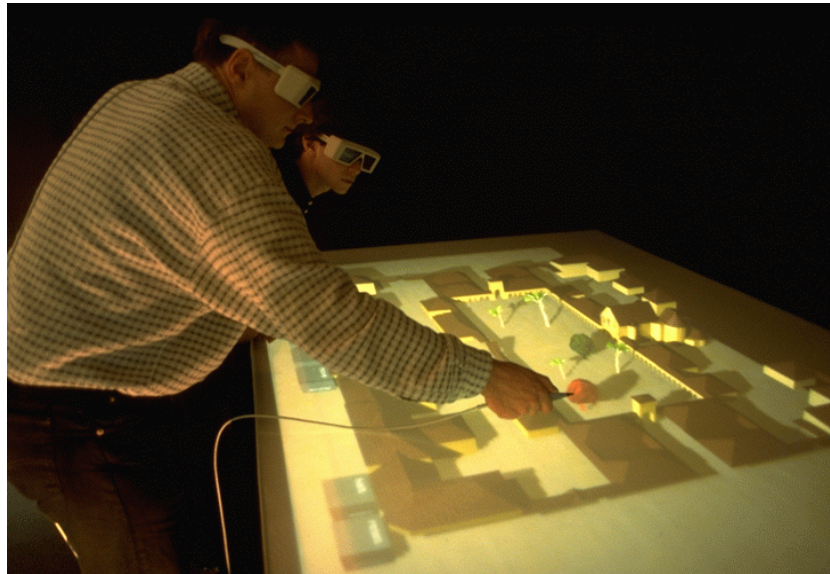


Abbildung 6: Responsive Workbench des Fraunhofer IPK (IPK, 2002)

Immersion (Eintauchen) in die virtuelle Welt bedeutet, dass dem Menschen durch seine Sinne das Gefühl vermittelt wird, in dieser Welt integriert zu sein. Dabei beschränkt man sich normalerweise auf die Optik (sehen), die Akustik (hören) und die Haptik (tasten). Speziell für die jeweiligen Sinnesorgane entwickelte Geräte regen dabei die Sinne an.

Interaktion heißt, den Betrachter an der virtuellen Umgebung teilhaben zu lassen und ihm die Möglichkeit zu geben, vorkommende virtuelle Objekte zu verändern bzw. zu benutzen.

Erst durch *Imagination* (die Vorstellungskraft) entsteht beim Benutzer das Erlebnis, Teil einer Welt zu sein, die in diesem Fall virtuell und nur im Computer existiert. Die Imagination ist in starkem Maße abhängig von der Qualität der Immersion und Interaktion.

Eine entscheidende Bedingung der VR-Stadtplanung ist der Einsatz von dreidimensionalen Modellen in Echtzeit (Rendering). Gegenüber der Nutzung von realen städtebaulichen Einsatzmodellen, die für jede Präsentation individuell angefertigt werden müssen, steht ein virtuelles dreidimensionales Stadtmodell (im Weiteren *3D-Stadtmodell* genannt) jederzeit aktuell und in einem beliebigen Betrachtungsmaßstab zur Verfügung. Im Gegensatz zur Echtzeitvisualisierung steht der Begriff Computeranimation bzw. Animation. Eine Animation

ist eine Filmsequenz, die nicht interaktiv und nicht manipulierbar ist und welche aus einer endlichen Folge von vordefinierten Bildern erzeugt wird.

Unter Verwendung von VR-Methoden und eines 3D-Stadtmodells erreicht man ein virtuelles, der Realität entsprechendes, dreidimensionales Stadtmodell (im Weiteren *VR-3D-Stadtmodell* genannt). Erst ein VR-3D-Stadtmodell ermöglicht die stadtplanerische Arbeit unter dem Gesichtspunkt der VR (im Weiteren *VR-Stadtplanung* genannt).

Basis für die VR-Stadtplanung ist ein 3D-Stadtmodell, welches durch eine Plattform aufbereitet und dargestellt wird. Diese Plattform ermöglicht dem Benutzer das 3D-Stadtmodell zu „erwandern“, zu begreifen oder interaktiv zu manipulieren. Unter Manipulationen im Stadtmodell versteht man z.B.: konkrete städtebauliche Planungen in das bestehende Stadtmodell einzubauen, um neue Stadtbilder schon vor einer möglichen Realisierung visualisieren und beurteilen zu können.

Ein 3D-Stadtmodell ist eine Nachbildung aller permanenten (Gebäude, Grünanlagen, Verkehrswege, Ver-, Entsorgungsinfrastrukturen usw.) und auch temporären Objekte (Mobilen, Werbeträger, Passanten usw.) einer Stadt in einem computerunterstützten Szenario. Es handelt sich quasi um ein erweitertes dreidimensionales CAD-Modell, das die wesentlichen Charakteristiken einer Stadt (Stadtgebiete) beinhaltet.

Aus den Erfahrungen einer interdisziplinären Zusammenarbeit und der daraus resultierenden Erkenntnis von Schwierigkeiten in der Terminologie zwischen den Disziplinen der Stadtplanung, der Computervisualistik und der Psychologie / Sozialwesen bedarf es der Formulierung einer weiteren Begriffsdefinition (vgl. Franke et al., 2000).

Streng genommen heißt die Form der Modellierung aus GIS¹¹-Daten zum 3D-Modell 2,5D-GIS. Der Begriff 2,5D sorgt i. Allg. außerhalb der Computergrafik und der Geodäsie¹², beispielsweise bei Computeranimationen bzw. bei Visualisierungen in der Architektur für Verwirrung. Aus diesem Grund wird sich der allgemeinen Ausführung angeschlossen und die Erweiterung um die dritte Dimension im Verlauf dieser Arbeit als 3D im Stadtmodell bezeichnet (vgl. Schilcher et al., 1998).

Dabei hängt der Detailgrad eines 3D-Stadtmodells von den jeweiligen Anforderungen ab, die noch zu definieren sind. Bei architektonischen Entwürfen (Städtebau) ist ein hoher, realitätsnaher Grad an Details gewünscht [24], (bzgl. [...] siehe Abschnitt 2.3). Hingegen bei städteplanerischen Konzepten (Stadtplanung) genügen Abstrakte¹³, wie Volumenkörper für Gebäude [4] und Vegetation [3], [23]. Für die Erstellung von Bebauungsplänen reicht ein Detailgrad in Form von Flächen und Drahtgittermodellen (Polygonkantendarstellung). Freiraumzonen und damit verbundene vegetative Objekte sind hingegen unter einem dynamischen Aspekt zu betrachten. Um diese Anforderungen zu kategorisieren und zu klassifizieren, schließt sich nachfolgend eine Recherche an, die anschließend in eine Bewertungsmatrix eingeordnet sind.

¹¹ GIS - Global Information System

¹² Geodäsie - offiziell / traditionell Vermessungswesen, mittlerweile teilweise erweitert um den Begriff Geoinformationswesen

¹³ Abstraktionen von Objekten entspr. niedriger LoD

2.3 Anforderungen an Modelle für die virtuelle Stadtplanung

In diesem Abschnitt werden konkrete Anforderungen an ein virtuelles Stadtmodell aufgezeigt. Grundlage der Anforderungen ist eine vorangegangene Recherche unter Zuhilfenahme verschiedenster Quellen. Bei der nachstehenden fokussierten Aufstellung handelt es sich um zusammengefasste Anforderungen und Möglichkeiten, größtenteils aus konkreten Projektvereinbarungen, -gesprächen und -präsentationen mit dem Stadtplanungsamt Magdeburg sowie aus vielen Gesprächen und Besprechungen, die im Rahmen der Realisierung des VR-3D-Stadtmodells mit anderen Projektbeteiligten als auch Interessierten auftraten. Diese Anforderungen stellen in Gänze nicht das Ergebnis bzw. Ziel der Arbeit dar. Alle Ideen und Ansprüche sind mit ihrer Quelle angegeben, sofern diese einen fremden Ursprung besitzen. Nähere Einzelheiten und detailliertere Informationen zu den Gesprächspartnern befinden sich im entsprechenden Verzeichnis Anhang A und sind durch [...] markiert.

Nach einer gründlichen Auswertung und Diskussion münden die erzielten Resultate in der Aufstellung einer Anforderungsmatrix.

2.3.1 Recherche

Die Anforderungen lassen sich in generelle, technische und weitere Anforderungen unterteilen.

Generelle Anforderungen:

Meist sind gesamtstädtebauliche Visualisierungen im Auftrag von Stadtplanungsämtern oder finanziell orientierten Investoren zu erstellen. Private Großinvestoren beabsichtigen erfahrungsgemäß ihre Produkte zu verkaufen. Mithin benötigen private städtebauliche Investitionsvorhaben eher eine subjektive verschönende Darstellung. Derartige Visualisierungen - ob auf Papier, als Architekturmodell oder in digitaler Form - entsprechen selten der Wirklichkeit und werden folglich nicht in die Betrachtung einbezogen. Demgegenüber sollten und müssen Darstellungen für die amtliche Stadtplanung wirklichkeitsgetreu gestaltet sein, um der Objektivität und dem Unabhängigkeitsgebot zu entsprechen (siehe Abschnitt 1.1).

Aus dem Aufgabenbereich der Stadtplanung resultieren viele unterschiedliche Anforderungen. Nicht alle Wünsche und Träume, die geäußert wurden, sind im vollen Umfang realisierbar. Da das Stadtplanungsamt als primärer Auftraggeber den entscheidenden Einfluss auf ein solches Projekt ausübt, sind insbesondere dessen Kriterien für die Erstellung eines Stadtszenarios maßgeblich.

Technische Anforderungen:

- Einteilung der Objekte in stadtplanerische Prioritäten
- Qualität der Geometrie und Texturen je nach Priorität
- Bestandteile eines dreidimensionalen Modells (siehe Abbildung 7), [1]:
 - Gebäude (GE)
 - Straßen, Bordsteinkante, Gleisbett der Straßenbahn (KR)
 - Laternen, Energiemasten, technische Anlagen (P)
 - Bäume, Buschwerk (G)

- Geländemodell
- Ver- und Entsorgungssysteme [8]
- Aufrechterhaltung einer akzeptablen Bildrate [1]
- Öffnungswinkel der virtuellen Kamera von 50 Grad
- Einsatz von Antialiasing bei Bildschirmfotos (Screenshots)

Legende:



GE	Gebäude
F	Fußweg
R	Radweg
G	Grünanlage
P	Parkraum
KR	Kraftfahrzeugraum

Abbildung 7: Stadtstraßenquerschnitt

Präsentations- und Nutzungsanforderungen / -möglichkeiten:

- Mobilität und Portabilität [1]
- Höherwertige immobile Stereopräsentation (Projektionswand oder VR Cube¹⁴) für maximal zehn Präsentationsteilnehmer (siehe Abbildung 8), [1]
- Interaktion und Manipulation während Wettbewerben [1], Workshops [25] und Stadtmarketingveranstaltungen [14], d.h.
 - Darstellung und Veränderung von Objekten (siehe Abbildung 6, S.12)
 - freie und vordefinierte Navigation im virtuellen Raum [4]
 - Implementierung von textuellen Zusatz-Informationen [18]
- Sonnen- / Schattenberechnung zur Belichtungs- und Durchleuchtungsprüfung [2]
- Semidynamische Zustandsvisualisierung¹⁵ - zeitliche Dynamik in Jahre [3], [16]
- Ableitung von 2D-Darstellungen, wie Grundrissen, Schnitten und Ansichten [2]

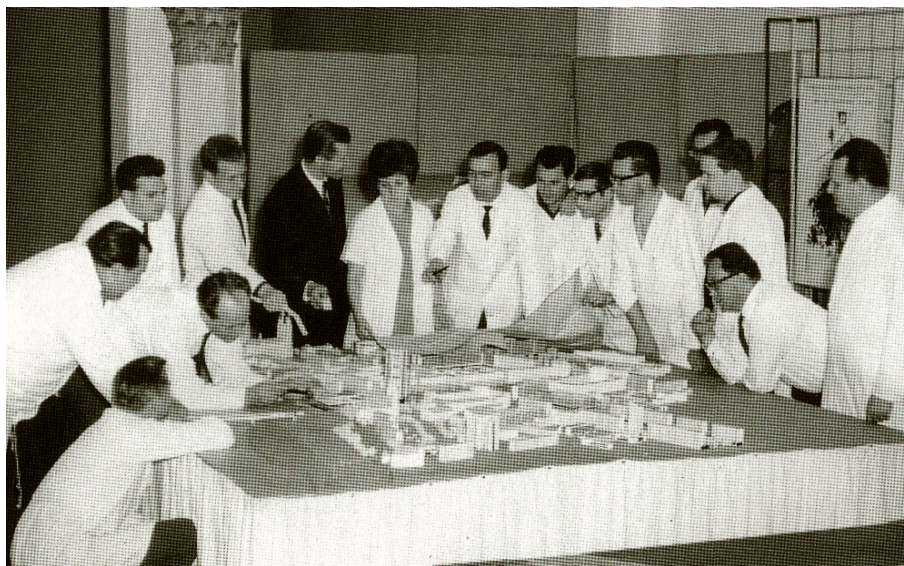


Abbildung 8: Mitarbeiter des Büros des Stadtarchitekten bei traditioneller Präsentation (Büro des Stadtarchitekten, Magdeburg, 1969)

¹⁴ VR Cube ist eine mehrseitig würfelförmige Projektionswand

¹⁵ Zustandsvisualisierungen von Vegetationswuchs und Gebäudealterung

Randanforderungen und -einsatzgebiete:

- Regelung der Zugänglichkeit⁹ des Systems - Datenschutz und Geheimhaltung [1]
- Simulationsgrundlage - diskret und stetig - für Verkehr / Klima / Fotovoltaikeintrag / Schall-Lärm¹⁶ / Notfall-Evakuierung / Baurecht¹⁷ [2], [17], [19]
- Umweltpsychologie¹⁸ ausgehend von einer „alternden“ Stadt [20], [22]
- Kognitives¹⁹ Sehen und menschennahe²⁰ Kameraführung [20]
- VR-3D-Stadtmodell mit Bibliothekscharakter als Bürgerinformationssystem [2]
- VR Modell als Medium für das Hochschulmarketing [13]-[15]

Bekundungen / Aussagen zu bestehenden Visualisierungssystemen:

- wenn VR, dann kaum Werkzeuge zur Manipulation in VR-Szenariovisualisierung, d.h. fehlendes städtebauliches Planungswerkzeug - typologischer Entwurf [6]
- uneinheitliche Farbdarstellung und Belichtung je nach Monitor- / Projektorart [26]
- kleine fachliche Planergruppen: niedriger Detailgrad, alle Freiheitsgrade und Echtzeit - Rendering (siehe Abbildung 8, S.15), [11], [12]
- große Bürgerinformationsveranstaltungen: hoher Detailgrad, Animation, vordefinierte Wegstrecken [9], [10]

Die Möglichkeiten der VR-Stadtplanung finden bei Stadtplanern und darüber hinaus generell viel Anklang. Die aus den Möglichkeiten der VR gewonnenen Transparenzen, Erkenntnisse und Zeitersparnisse in der Planungsvorbereitung, Planung und Realisierung von Maßnahmen sind wesentliche Vorteile für die Stadtplanung, die es zu konkretisieren gilt. Deshalb werden im Weiteren die virtuellen und baulichen Aspekte eines 3D-Stadtmodells gewertet.

2.3.2 Auswertung - Matrix

Hinsichtlich einer ganzheitlichen Betrachtungsweise wird im ersten Teil die Auswertung kurz aus Sicht der technischen Baubestimmungen und im zweiten Teil ausgiebiger aus Sicht der virtuellen Entwicklung vorgenommen. Abschließend wird eine Mittlung der Sichtweisen in einer Anforderungsmatrix münden.

Der Einsatz der Virtuellen Realität als interdisziplinäre Schnittstelle (siehe Abbildung 9) im *Bauwesen* bietet konkrete Potenziale und Vorteile, nachweislich von der bauwerklichen Planung bis zur Realisierung und dem Betrieb, welcher nachfolgend am Leistungsbild der derzeit geltenden Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI) nach §15 stichpunktartig beschrieben wird:

¹⁶ „...Gemeinsam mit zwei Doktoranden und der Stadtplanung wurde eine Magdeburger Lärmkarte gefertigt, die erste in der DDR, die deshalb Ausstellungsobjekt für Umweltrepräsentation im Ausland war. ...“ Aus der Laudatio „Zum 65. Geburtstag von Prof. Dr. med. habil. Giselher Schuschke“ von der Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin (GHU)

¹⁷ z.B.: Ermittlung und Zulässigkeitsüberprüfung von Abstandsflächen, Grundflächenzahl, Geschosszahl etc.

¹⁸ zum Zwecke psychologischer Test mittels VR-3D-Stadtmodell zu Erfassung von kognitiver und motivationaler Faktoren

¹⁹ Kognition die, Prozesse und Strukturen, die mit dem Wahrnehmen und Erkennen zusammenhängen (Denken, Erinnerung, Lernen u. a.); kognitiv, die Erkenntnis betreffend.

²⁰ im Sinne von: Was erlebt der Mensch, wenn er sich durch die Stadt begibt? Schaut er nach oben, um hohe Fassaden zusehen?

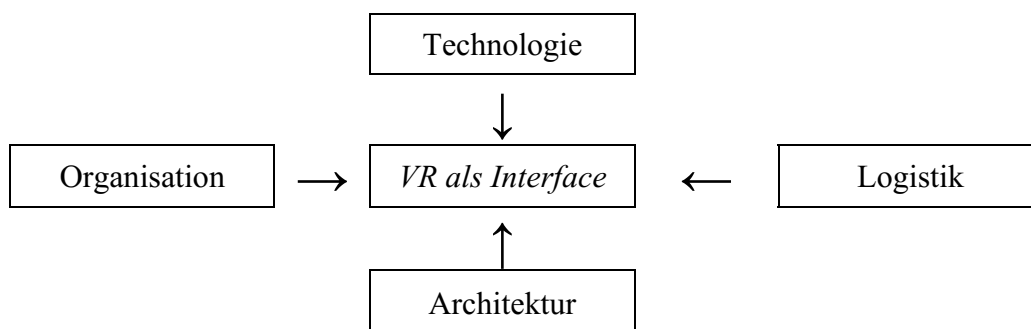


Abbildung 9: Virtuelle Realität als interdisziplinäre Schnittstelle

- *Qualitative Aufwertung von Präsentationen*
Akquisition und Vermarktung in allen Bereichen des Planungs- und Gestaltungsgewerbes, des Immobiliensektors und der Baufinanzierung, Projekt und Planungsvorbereitung erfahren eine qualitative Aufwertung (vgl. L.Ph. 2 nach HOAI §15, 2002).
- *Effizienzsteigerung bzw. Erleichterung der Variantenplanung*
Durch Interaktionsmöglichkeiten während der VR-Visualisierung können Entwurfskorrekturen seitens des Auftraggebers, Planungspartners, Kontrollinstanzen während der Präsentation erfolgen.
- *Kostenminimierung und -vermeidung im Planungsprozess*
Entwurfsfehler, speziell durch die Zusammenarbeit von verschiedenen Fachplanern werden durch die kontinuierliche VR-Visualisierung erkannt bzw. vermieden (vgl. L.Ph. 2 und 3 nach HOAI §15, 2002).
- *Erleichterung und Beschleunigung*
Bei der Erstellung der Genehmigungs- und Ausführungsplanung kann auf eine bereits digital erstellte Entwurfsplanung zurückgegriffen werden (vgl. L.Ph. 4 und 5 nach HOAI §15, 2002).
- *Schnelle Wertung und Analyse von Planungsänderungen*
Trotz Planungen kommt es während jeder Ausführung zu Änderungen (vgl. L.Ph. 5, 6 und 7 nach HOAI §15, 2002).
- *Optimierung des Kontrollprozesses für Fachplaner des Baugewerbes*
Statische Berechnungen und technische Gebäudeausrüstungen (TGA) können mit 3D-Modellen in ihrer Überwachung und Inspektion sicherer vollzogen werden (vgl. L.Ph. 8 nach HOAI § 15, 2002).
- *Nutzung im Facility – Management*
Eine durchgängige digitale Planung und Realisierung sind Basis für eine Betriebs-Kosten-Nutzungs-Analyse und als Nebenprodukt (Synergie) gibt sich die abschließende Objektdokumentation an (vgl. L.Ph. 9 nach HOAI §15, 2002).

Aus Sicht der *Informationstechnologie* (Informatik / Computervisualistik) ermöglicht der Fortschritt²¹ nunmehr auch Laien den Zugang zu hochqualitativen Architektur- und Stadtplanungsvisualisierungen. Der Qualitätsbedarf und die Detailstufe haben entscheidenden Einfluss auf die Datenmenge. Daher muss im Vorfeld der Generierung eines Modells dessen Zielgebiet und Anforderung abgesteckt werden, um eine geeignete Methodik anzuwenden und somit optimale Ergebnisse zu erzielen. Abbildung 10 zeigt einige Einsatzfelder eines 3D-Stadtmodells.

²¹ Die Leistungsfähigkeit von Computerchips werden sich alle zwölf bis 24 Monate verdoppeln - diese kühne These wagte 1965 Gordon Moore, ein Mitbegründer des US-Hardware-Herstellers Intel

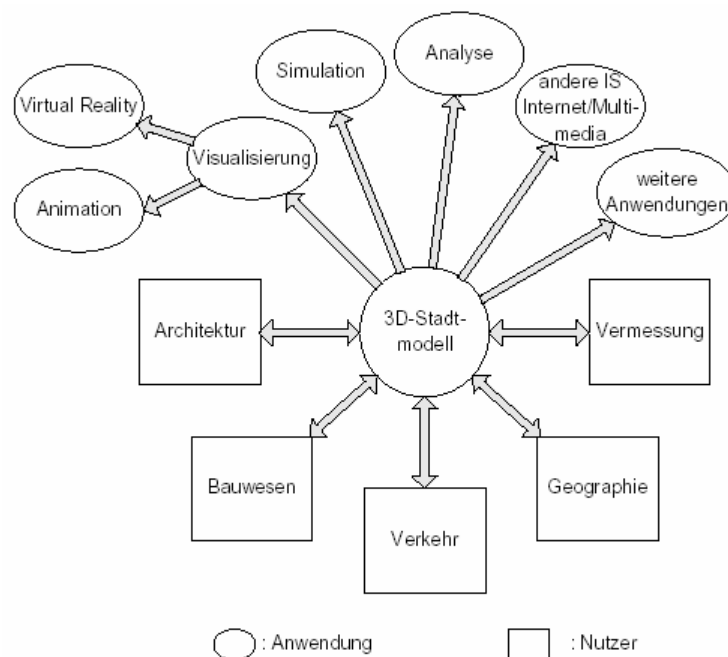


Abbildung 10: Anwendungsbeispiele eines 3D-Stadtmodells (Schilcher et al., 1998)

Sollen nur Aussagen über Massenverhältnisse getroffen werden, genügt ein Standbild mit einfacher Darstellung des Modells ohne Texturen und mit geringer geometrischer Auflösung (Minimum). Je höher aber der bautechnische Detailgrad, desto besser ist dieses für ein späteres Facility-Management, beispielsweise von Wohnungsbaugenossenschaften [7], (Maximum).

Werden hingegen Bürger über eine Planung respektive bevorstehender Realisierung informiert, ist eine hochqualitative und wirklichkeitsgetreue animierte Darstellung ausreichend als auch nötig. Das heißt, eine detaillierte Animation hat gegenüber einer Visualisierung in Echtzeit die höhere Priorität. Argumente hierfür liegen in folgenden Tatsachen begründet. Erstens ist eine allen gerecht werdende, interaktive Visualisierung technisch derzeit mit der zumeist hohen Anzahl an zu Informierenden nicht zu vereinbaren. Zweitens ist die Mehrzahl der Bürger ohne technische und planerische Kenntnisse und Hintergrundinformationen nicht in der Lage, fundierte bzw. nachhaltige stadtplanerische Maßnahmen vorzuschlagen. Letztlich haben nur wenige Bürger ein ausgeprägtes visuell-räumliches Vorstellungsvermögen, so dass sie einen höheren Schwellwert zur Wiedererkennung aufweisen und somit eines reichhaltigen Detailgrads bedürfen.

Bei Neuplanungen von Fachplanern bedarf es eher interaktiver VR-Methoden, die interaktive Untersuchungen verschiedener Varianten und Blickwinkel aus verschiedenen Positionen zulassen. Die Höhe der Aufwendungen bei der Erstellung eines 3D-Stadtmodells hängt vom Ziel der Nutzung ab. Eine bewährte Methode ist ein 3D-Stadtmodell schrittweise im Detailgrad zu erhöhen, je nach Bedarf zu verfeinern bzw. zu erweitern (vgl. Schilcher et al., 1998).

Für die Stadtplanung, den Städtebau und die Architektur ist der Blick aus der Fußgängerperspektive mit hohem Detailgrad in einer gesamtstädtebaulichen Visualisierung,

eine Neuheit. Bisherige Realmodelle²² ermöglichen lediglich die Sicht der Vogelperspektive [21]. Insbesondere Geländeformationen sind für die Perspektivbildung sehr wichtige Bestandteile, da hierdurch Gebäudewirkungen und Wahrnehmungen untereinander im Stadtbild erheblich sind. Daher kann auf die Implementierung von Höheninformationen nicht verzichtet werden. Um vergleichbare Resultate²³ einer VR-Visualisierung zu erzielen, waren bisher Collagen oder gezeichnete Perspektiven nötig. Nunmehr liegt durch die VR eine „Modellmöglichkeit“ mit erheblicher Steigerung in der Qualität und Quantität für die Stadtplanung vor.

Auch die Farbtreue der Visualisierung zur Wirklichkeit ist sehr wichtig, jedoch muss der Farbton nicht unbedingt identisch zu dem im Realen sein. Durch diesen Umstand wird der Betrachter unbewusst in seiner Phantasie angeregt und zu Aktivität gezwungen. Die Künstlichkeit (Aliasing, Moiré, ...) muss in der Grafikausgabe möglichst vermieden werden, da dieser Effekt meist als störend empfunden wird. Zur Optimierung des VR-3D-Stadtmodells ist die Einführung von Level of Details (LoD) in drei Kategorien, je nach Bedarf notwendig.

Die mögliche direkte Verknüpfung von 3D-Objekten im virtuellen Szenario mit textuellen Hintergrundinformationen, z.B.: Bauwerks- bzw. Pflanzkriterien insbesondere Alter, Typ, Art, geometrische Dimensionen, Wirtschaftlichkeit, Zustandseigenschaften, ist ein wesentlicher Vorzug. Dem entgegen sind ein Nachterlebnis (siehe Abbildung 20-d, S.34) und eine Wettervisualisierung nicht so wichtig für die Stadtplanung. Dennoch ist ein 3D-Stadtmodell auch hierfür eine sehr gute Ausgangsbasis.

Um all diesen Einflüssen und Faktoren gerecht zu werden, bedarf es der *Mittlung* von baulichen Gegebenheiten / Wünschen und technischen Realisierungsmöglichkeiten. Optimal wäre die komplette Einbindung und dauerhafte Verknüpfung aller Einflüsse und Faktoren in einer Datenbank, die als Basis für eine automatische Aktualisierung (Fortführbarkeit) des Modells dient. Damit könnte eine ständige Verfügbarkeit gewährleistet werden. Hintergrund für die unterschiedlichen Modellelemente muss demzufolge eine Layerstruktur (ähnlich der in CAD-Programmen), mehrere Teilbilder oder eine Hierarchie sein, um beispielsweise einzelne Bestandteile oder Gruppen ein oder auszublenden bzw. zu aktivieren oder zu deaktivieren.

„Gibt es positive und negative Bauten?“, war die Gegenfrage eines Gesprächspartners [2]. Politisch und gesellschaftlich gesehen - ja, denn positive Bauten sind jene, die einer großen Gruppe von Menschen behagen. Negative Bauten stören das gesellschaftliche Zusammenleben. Eine wichtige Erkenntnis daraus ist: Ein 3D-Stadtmodell könnte leicht mit gezielten Darstellungstechniken bzw. durch manipulierte Ausgangsdaten missbraucht werden. Auf eine derartige Einwirkung ist im gesamten Realisierungsprozess gesondert zu achten, da im Falle des Geschehens die Objektivität des 3D-Modells leidet und die Reputation eines solchen Instrumentariums in Mitleidenschaft gerät.

Zusammenfassung

Aus der Vielzahl der oben genannten sachrelevanten Kriterien, Wünsche, Äußerungen und aufgezeigten Gefahren sind die Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell abzuleiten. Aus den Ergebnissen lässt sich eine Anforderungsmatrix bilden, die abschließend zu diesem Abschnitt dargestellt ist (siehe Tabelle 1). Die Matrix hilft, die Rahmenrichtlinien im Fortgang der Arbeit zu verstehen und abzustecken.

²² siehe <http://www.modeliusbau.de>

²³ Mit hohem technischen Aufwand ist auch ein Blick aus Fußgängersicht möglich. Der Autor hat im Bereich der Mikrovideokameranutzung Erfahrungen gesammelt.

Die sich aus der Tabelle 1 ergebenden Anforderungen an die Datenquellen und -grundlagen, bspw. der digitalen Stadtgrundkarte und der Kataster, werden im vierten Kapitel einer näheren Betrachtung unterzogen.

	<i>amtliche Stadtplanung, kommunale Einrichtungen</i>	<i>finanzielle Konsortien, privatrechtliche Gesellschaften</i>	<i>Sozialwesen, Sozialkommunikation, Bürgerinformation</i>
<i>Wunsch nach:</i>			
Interaktionsmöglichkeit	▲	▲	—
Visualisierungsqualität	—	▲	▲
Visualisierungsquantität	▲	—	▼
Manipulationsmöglichkeit	▲	—	▼
<i>Notwendigkeit von:</i>			
Gebäude	▲	▲	▲
Freiraum, Vegetation	▲	—	▲
Topologie, Höhenrelation	▲	▼	▲
Details	▼	—	▲
Portabilität	▲	▲	▼
Mobilität	—	▲	—
<i>Zustandsgrößen:</i>			
Personenkreis (in Personen)	1-10	1-50	1-10.000
Maßstabsebene	1:250.000-10.000	1:10.000-50	1:10.000-1
Kongruenz VR / Realität	▲▲	—	▲

Legende:

elementar ▲

indifferent —

unnötig ▼

Tabelle 1: Anforderungsmatrix an eine städtebauliche Visualisierung

VR-3D-Stadtmodelle, die ein größeres Gebiet abdecken, stehen erst am Anfang ihrer Entwicklung. Technische Voraussetzungen sind gegeben, lediglich an den Methodiken für deren Umsetzung fehlt es. Begründend und zugleich vorwegnehmend zum vierten Kapitel ist zu erwähnen, dass einer automatisierten Erstellung eines 3D-Stadtmodells zum Teil handschriftliche bzw. -zeichnerische Methoden der Katasterämter gegenüberstehen.

Inwiefern die konzipierte Tabelle 1, S.20 durch gegenwärtig zur Verfügung stehende Visualisierungs- bzw. Modellierungssysteme abgedeckt wird, ist Gegenstand der nachfolgenden Eignungsuntersuchung.

2.3.3 Eignungsuntersuchung von Visualisierungs- und Modellierungssystemen

Im letzten Abschnitt dieses Kapitels wird eine Marktanalyse und -untersuchung vorgenommen, um sich bei der Entwicklung der Arbeit an gängigen relevanten Systemen zu orientieren und ggf. einen Datenaustausch und -integrität zu gewährleisten. Des Weiteren werden diese Systeme hinsichtlich der Eignung zur Erstellung eines 3D-Stadtmodells, auf Grundlage des vorangegangenen Abschnittes, betrachtet.

Eine Entscheidung für oder gegen das eine oder andere CAD-Programm kommt meist nicht auf Grund objektiver Kriterien zustande. Es entscheidet vielmehr oft der Zufall. Richtungsweisend oder ausschlaggebend sind hauptsächlich Studenten und Jung-Absolventen, die aus Lehrveranstaltungen der Hochschulen Kenntnisse und praktische Erfahrungen mitbringen.

Welche Stärken und Schwächen die gebräuchlichsten CAD-Systeme konkret aufweisen, war Thema einer Umfrage des *Entwurfs*, einem Magazin für das Architekturstudium. Die Nutzerumfrage stammt von Ellinghaus, in der mehr als 200 Studenten befragt wurden (vgl. Ellinghaus, 2002). Deren Erkenntnisse werden im Weiteren geschildert bzw. beschrieben. Auf den ersten Blick scheint sich die Betrachtung dieser Untersuchung nicht rechtfertigen zu können. Das ist jedoch mit der einfachen Tatsache der Fortführbarkeit respektive der Nutzbarkeit eines 3D-Stadtmodells zu entkräften, denn schon zum Zeitpunkt der Konzipierung muss auf die spätere Möglichkeit der Variantenimplementierung eingegangen werden, die mit hoher Wahrscheinlichkeit mittels der folgenden zu betrachtenden Systeme erstellt wird. Abbildung 11 zeigt den prozentualen Verbreitungsgrad und somit die Relevanz der einzelnen Programme.

AutoCAD 2000®, *Allplan FT®*, *Microstation®* und *ArchiCAD®* sind die am weitesten verbreiteten CAD-Programme unter Planern im Bauwesen.

AutoCAD 2000® zeigt seine Stärken vor allem in der 2D-Konstruktion. Es ist wie nahezu alle CAD-Programme sehr zeichengenau, zumal es sehr übersichtlich zu bedienen und leicht erlernbar ist.

Durch seine weite Verbreitung und dem damit verbundenen internationalen Nutzerkreis ist *AutoCAD®* im Bauwesen vorherrschend. In den Bereichen Präsentation und Layout, sowie 3D-Modelling hat *AutoCAD 2000®* allerdings viele Schwächen. So ist die Erstellung von 3D-Modellen, gerade mit Blick auf Freiformflächen, sehr schwierig. Somit muss auf die Nutzung von *3D-Studio Maxx®*, *Corel Draw®* oder *Adobe Illustrator®* zurückgegriffen werden. Ein späterer Datenaustausch soll sich nach Herstellerinformationen problemlos gestalten.

Allplan FT® zeichnet sich in erster Linie durch sein umfangreiches Leistungsspektrum aus. Es ist übersichtlich, sehr gut strukturiert und ebenfalls leicht erlernbar, weist aber die gleichen Stärken in 2D- und Schwächen in 3D-Modelling wie *AutoCAD 2000®* auf. Ältere Programmversionen sind nicht an die Windowsoberfläche angepasst. Bei der Erstellung von neueren Programmen wurde dieser Kundenwunsch erkannt und dieses Manko behoben. Der Datenaustausch gestaltet sich als schwierig, da es häufiger zu Datenverlusten kommt. Zur Erstellung von 3D-Modellen empfiehlt sich die Nutzung von anderen Programmen.

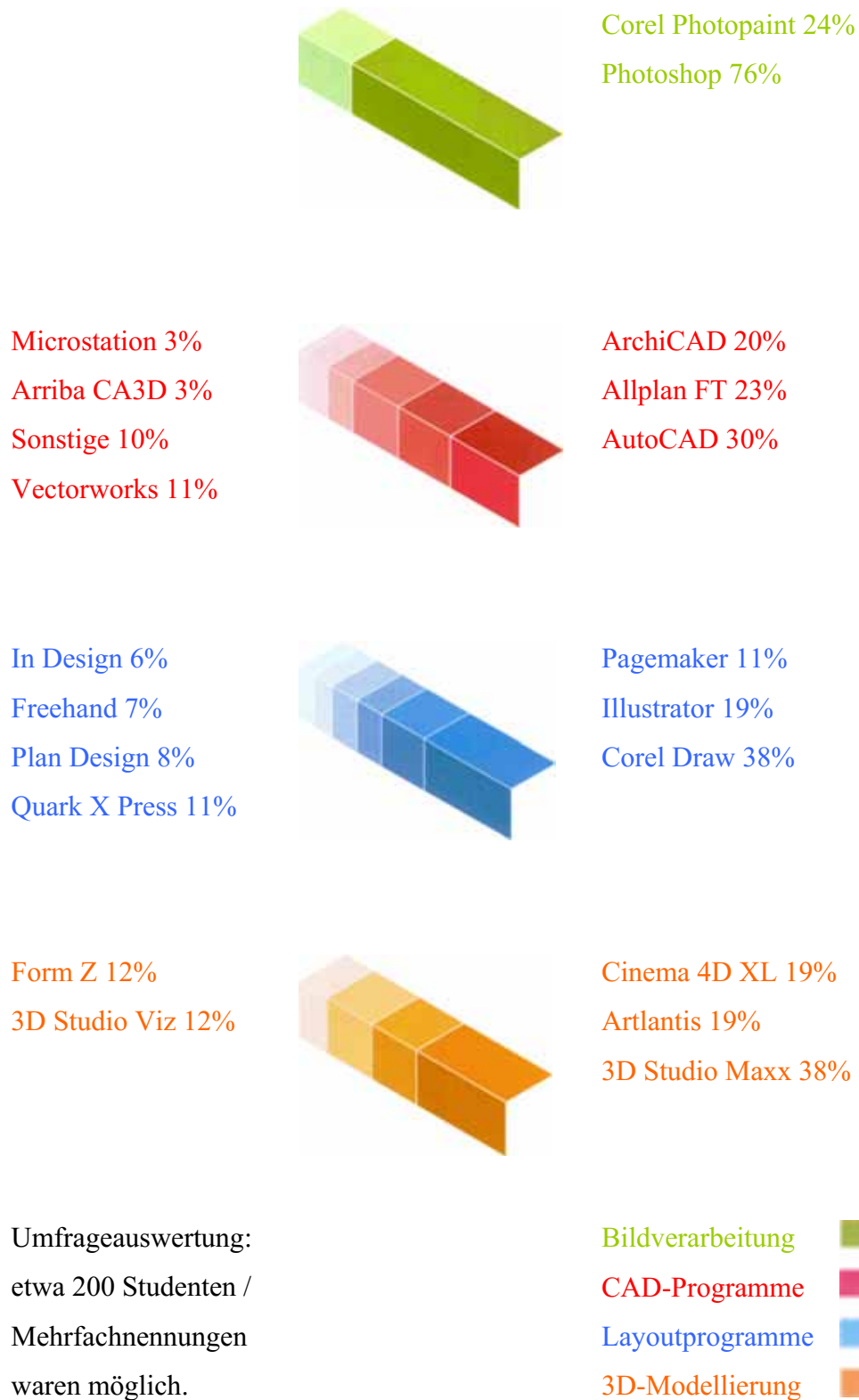


Abbildung 11: CAD Nutzerumfrage (Ellinghaus, 2002)

ArchiCAD® zeigt seine Stärken nicht nur in der 2D-Konstruktion, sondern auch in Layout, Präsentation und 3D-Modelling. Das Programm erstellt von allen zweidimensional gezeichneten Flächen sofort ein 3D-Modell. Da man hier ohne große Vorkenntnisse arbeiten

kann, stellt sich schnell ein Spaßfaktor ein, der aber seinen Tribut von der Mächtigkeit²⁴ des Systems fordert. Daneben ist es aber auch für die Werksplanung bestens geeignet. Die Schwäche von *ArchiCAD*® liegt, wie auch bei den vorher bewerteten CAD-Programmen, in der Erstellung von gekrümmten Linien und Flächen. Hinzu kommt ein hoher Bedarf an Rechenleistung für Perspektivansichten, so dass ein Nutzer die dementsprechende Hardware mitbringen muss. Schnell kommt das Programm bei komplexen 3D-Modellen an seine Leistungsgrenzen. Der Datenaustausch soll auch hier nach Herstellerinformation problemlos möglich sein.

Bei den in der Zusammenfassung (siehe Abbildung 11, S.22) betrachteten Systemen handelt es sich um einen elitären Auszug von 145 Bauvisualisierungssystemen. Daraus ist zu erkennen, dass ein sehr breites Spektrum an solcher Software existiert. Somit muss sich bei einer Realisierung an den am weitesten bzw. häufigsten genutzten Systemen orientiert und ein plattformoffenes 3D-Stadtmodell erzeugt werden. Dementsprechend folgt im anschließenden Kapitel eine Untersuchung von themenverwandten Arbeiten.

²⁴ entspr. der Reichhaltigkeit an Werkzeugen

Themenverwandte Arbeiten

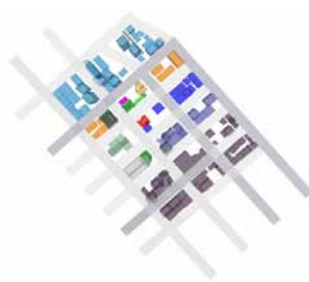
Im folgenden Kapitel wird verwandten oder ähnlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die zum Thema der Erstellung von dreidimensionalen Stadtmodellen und / oder deren Nutzung für die VR-Stadtplanung Aufschluss und Inspirationen geben, nachgegangen. Zum Teil gehen die vorgestellten Abhandlungen weit über die Interaktion mit einfachen Blockwelten hinaus und zeigen interessante Perspektiven der synthetischen Welt auf. Andererseits beschreiben sie vergleichbare Problemstellungen und Schwierigkeiten, und bieten hierfür Lösungskonzepte und Hintergrundinformationen an, die von grundlegender Relevanz für die Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zwecke der VR-Stadtplanung sind.

3.1 Stadtvisualisierungsprojekte - Vancouver und Straßburg

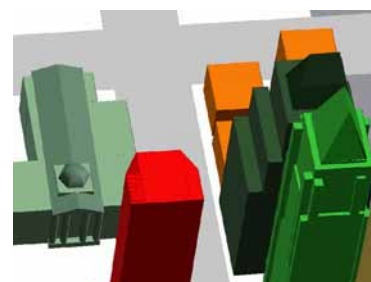
In der *db - deutsche bauzeitung* werden in einer Serie „... in digitalen Städten“ virtuelle Stadtmodelle von zum Beispiel Straßburg, Toronto, Ottawa, Vancouver, Chemnitz usw. gegenübergestellt (vgl. *db*). Für den ersten Eindruck ist das 3D-Stadtmodell von Vancouver dargestellt (siehe Abbildung 12). Exemplarisch wird im Folgenden das 3D-Stadtmodell der Stadt Straßburg (*db* 7/02 136.Jahrg. S.14-15) vorgestellt und bewertet.



(a) Stadtkarte von Vancouver



(b) 3D-SM Draufsicht



(c) 3D-SM Vogelperspektive

Abbildung 12: Vancouver Stadtkarte (<http://www.bctravel.com/van/downtownmap.gif>) und 3D-Stadtmodell Vancouver von Solomon Wang (University of British Columbia)

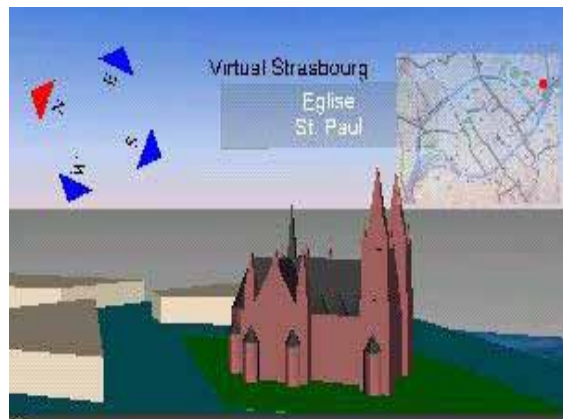
Im Internet ist eine Vielzahl von virtuellen dreidimensionalen Städten zu finden. Sie unterscheiden sich meist erheblich in ihrer Erscheinungsform. Nach Meinung der *db - deutsche bauzeitung* setzt sich das virtuelle Straßburg von allen bisher diesbezüglich betrachteten Internetpräsentationen ab, da sich hier engagierte Einzelleistung²⁵ und neben dem rein städtischen Interesse auch die Wirtschaft in das Projekt eingebracht hat.

Ein konzentrisch²⁶ pulsierender Lagepunkt auf der Landkarte präsentiert Straßburg suggerierend als das Zentrum von Europa. Zunächst ist ein typischer Stadtstart zu sehen. Der Szenariostart gestaltet sich in einem modern modischen Seitenaufbau (siehe Abbildung 13-a).

Nach einem Mausklick auf den Lagepunkt öffnet sich eine Folgeseite, die eher unübersichtlich auf Grund überzähliger Menüfenster und verschiedenster Typografien wirkt. In der oberen Grafikausgabe ist das Münster zusehen (siehe Abbildung 13-b). Innerhalb dieses Fensters baut sich nach einiger Zeit eine Windrose²⁷, ein Stadtplan²⁸ und das 3D-Stadtmodell auf. Das Fenster lässt sich variabel bis zum Vollbild (Full-Screen) aufziehen, wobei der Ladevorgang bei ISDN -Übertragungsrate etwa zwei Minuten in Anspruch nimmt.



(a) Eröffnungsbild der Homepage



(b) Startbild des 3D-Stadtszenarios

Abbildung 13: Virtuelles Straßburg (<http://www.3dvr.org/vrstrasbourg>)

Nach dem vollständigen Laden des Modells von Straßburg erscheinen rund ein Dutzend Objekte, und es empfiehlt sich, diese einzeln über die *View* - GUI abzufliegen. Begonnen wird mit einem Rundflug über die Stadt an einem historischen Gebäude, der neugotischen St. Paul Kirche²⁹. Insgesamt stehen dem Besucher vier vordefinierte Rundflüge zur Verfügung, darunter eine Schiffsrundfahrt auf dem Fluss Ill. Im freien Modus kann sich der Besucher aller Freiheitsgrade bedienen (VR-Methode), bis zu den Innenstadtgrenzen. Das inselartige Kerngebiet wird vermutlich über eine Collision-Detektion³⁰ begrenzt. Als Orientierungshilfe stehen die Windrose und der Stadtplan zur Verfügung. Alle Gebäude sind ohne Textur. Im Gegensatz zum realen hügligen Straßburg sind die Straßen im virtuellen Modell alle eben.

²⁵ Der „Vater“ des virtuellen Straßburgs ist Francis Felix.

²⁶ mittelpunktsgleicher

²⁷ Die Windrose scheint zum Zeitpunkt der Betrachtung nicht in Funktion zu sein, da diese unverändert immer einen gleichen Wert anzeigt, obgleich sich ein Benutzer frei in alle Richtungen bewegt.

²⁸ Aus der Kritik eines Benutzers ist zu entnehmen, dass dieser Stadtplan gegenüber einem üblichen Stadtplan qualitativ nicht Stand hält, seine Funktion als Orientierungshilfe nicht erfüllt.

²⁹ Alle Turmuhren der St. Paul Kirche stehen auf zehn nach zwölf Uhr, metaphorisch ein Zustand unrettbaren Verlorenseins.

³⁰ Kollidiert ein Benutzer mit einem Objekt, das als Grenze definiert ist, so kann er diese nicht überschreiten. Dabei kann dieses Objekt nicht sichtbar sein.

Im Ergebnis lässt sich feststellen, dass das Straßburger 3D-Stadtmodell auf Grund der touristischen Auslegung nicht für die Zwecke der Stadtplanung nutzbar ist. Einzig als städteplanerischer Entwurf wird die neue L'Eurotram, eine futuristische Straßenbahn, stehend auf einer undefinierten grünen Fläche (Wiese) präsentiert. Texturen, verknüpfende textuelle Hintergrundinformationen und weiterführende Erläuterungen zu den Gebäuden sowie die Implementierung des Höhenmodells könnten die Internetpräsentation positiv erweitern. Beispielhaft sind die Navigation und die Orientierungshilfen über die Windrose und den Stadtplan. Sie könnten gleichsam in der VR-Stadtplanung Verwendung finden.

3.2 Prozedurales Modellieren von Städten

Der Schwerpunkt der sich anschließenden Betrachtung liegt auf der automatisierten Erzeugung von 3D-Stadtmodellen.

Nachfolgend wird das System in seinen Einzelheiten und im Detail beschrieben.

Das gesamte System heißt „*CityEngine*“ (Parish & Müller, 2001). Es kommt mit wenigen Eingabedaten aus und erstellt das komplette Modell einer Stadt. Der Benutzer hat eine weitreichende Kontrollmöglichkeit über das Geschehen und kann das System durch Auswahl vordefinierter L-System-Regeln und über die Ausgangsdaten beeinflussen.

Grundlage der Generierung des Modells ist eine prozedurale Annäherung an städtebauliche Zusammenhänge und Entwicklungen basierend auf erweiterten L-Systemen³¹. Ausgangspunkte der Generierung sind verschiedene Kriterien, wie Landkarten und Bevölkerungsdichte. Die Ausgangsdaten unterscheiden sich in geografische und sozialstatistische Daten. Diese Daten müssen vom Benutzer zur Verfügung gestellt werden, jeweils als zweidimensionale Datenkarten.

- Geografische Karten
 - Höhenkarte / Topografie
 - Land-, Wasser-, Vegetationskarten
- Sozialstatistische Karten
 - Bevölkerungsdichte
 - Wohn-, Gewerbe- und Mischgebiete
 - vorgegebene Straßenordnungen (Gitter- / Radialnetz)
 - maximale Traufhöhenkarte für Gebäude

Aus diesen Daten werden zum einen die Bebauung und zum anderen das Verkehrsnetz erzeugt. Straßensysteme folgen meistens gewissen topografischen, wirtschaftlichen und politischen Regeln, die in die L-Systeme eingebettet wurden. Grundlage für diese Regeln sind

³¹ L-Systeme sind Modelle für parallele Ersetzungsprozesse. Der Begriff wurde 1968 von Aristid Lindenmayer vorgeschlagen, um natürliches Wachstum von mehrzelligen Organismen (Pflanzen) zu beschreiben. (Peitgen et al., 1992)

die Städte New York, Paris, London und Tokio. Als Ergebnis erhält man ein System aus Straßen, welches das Land in Gebiete aufteilt. In diesen erzeugten Stadtgebieten entstehen wiederum die Geometrien der Gebäude respektive die Parzellierung innerhalb der einzelnen Stadtquartiere. Zur Erzeugung der Straßen wurde die Methode der L-Systeme um globale und lokale Einflüsse erweitert und optimiert. Ein weiteres L-System generiert die Geometrien der Gebäude. In gleicher Weise erzeugte Texturen kommen hinzu. Einige Scanline - Renderer unterstützen *procedural textures*, so dass die Möglichkeit besteht, die erzeugten prozeduralen Gebäudetexturen direkt in die Renderer - Pipeline zu überführen. Alle Straßen, Stadtgebiete und Gebäudegeometrien sind dabei textuell³² beschrieben. Die Bestandteile werden zum Schluss zu einem Gesamtmodell zusammengefügt, welches anschließend durch einen Parser³³ für beliebige Visualisierungssysteme entsprechend aufzubereiten ist (siehe Abbildung 14), (vgl. Parish & Müller, 2001).

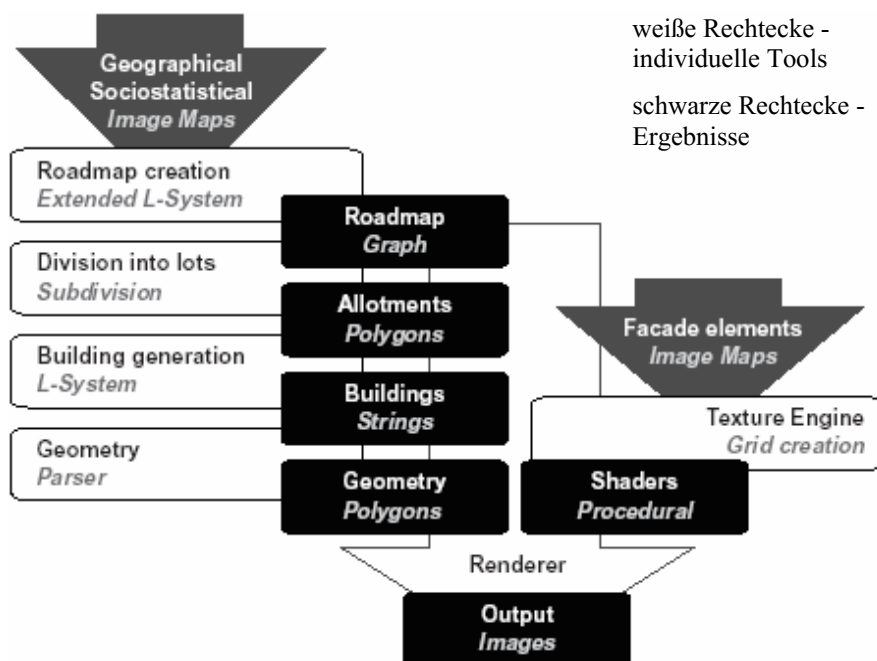


Abbildung 14: Systemarchitektur von „CityEngine“ (Parish & Müller, 2001)

Das Verfahren der prozeduralen Erstellung von 3D-Stadtmodellen kann für eine wirklichkeitsgetreue Darstellung einer real existierenden Stadt nicht verwendet werden, da die Zufälligkeit in dieser prozeduralen Erstellungsmethodik dem Anliegen der Visualisierung einer realen Stadt widerspricht.

Innovativ hingegen zeigt sich dieses Verfahren für die Erstellung von städtebaulichen Planungen, die gegenwärtig üblicherweise in aufwendiger Handarbeit durch Ingenieurbüros konzipiert werden. Somit könnte das prozedurale Modellieren von Städten ein gewichtiger Teil der VR-Stadtplanung werden, da hierdurch entscheidend manuelle Arbeitskraft und -zeit eingespart wird. Allerdings stellt sich hierbei die philosophische Frage, inwieweit sich die Menschheit der Maschine unterordnet. Denn durch den Einsatz solcher Innovationen wird der Mensch als kreative Kraft (Planer) zurückgedrängt und seine Leistung auf das Evaluieren einer Planung, wenn es denn Planungsvarianten gibt, beschränkt und reduziert.

³² string representation of boolean operations

³³ In diesem Fall überführt der Parser die Grammatik in ein 3D-Modell (vgl. Parish & Müller, 2001).

Die Art und Weise der Beschreibung von Gebäudegeometrien (Strings) könnte Teil einer erweiterten digitalen Stadtgrundkarte sein. Durch die Beschreibungsweise kann entscheidend Speicherplatz gespart werden. Letztlich lässt sich auch an der Quantität des prozeduralen Ergebnisses (siehe Abbildung 15) Folgendes ableiten: Gegenwärtige Hardwarekonfigurationen können unproblematisch mit derart großen Szenarien arbeiten und diese visualisieren, so dass diesbezüglich für ein 3D-Stadtmodell gleichen Ausmaßes keine essenziellen Schwierigkeiten zu erwarten sind.

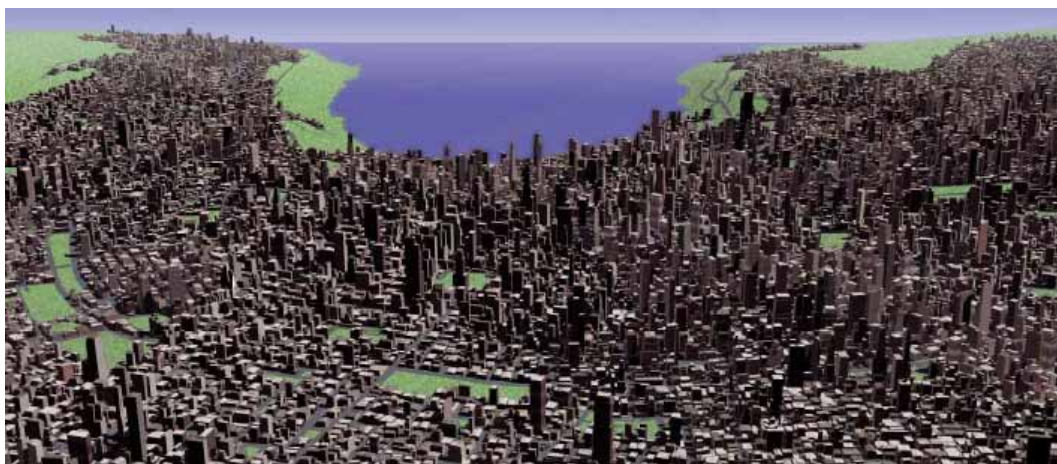


Abbildung 15: Virtuelle Stadt bestehend u. a aus 26000 Gebäuden generiert durch „CityEngine“ (Parish & Müller, 2001)

3.3 GIS Daten als Grundlage für 3D-Stadtmodelle

Wesentliche Ausgangsdaten, die für eine Erstellung von 3D-Stadtmodellen zur Verfügung stehen, sind die GIS - Datenbestände und die Katasterdaten. Da selbige Daten auch hierzulande geführt werden und sie die Grundlage dieser Arbeit bilden, wird ihrer Verwendung mit einhergehenden Vorteilen und Schwierigkeiten in diesem Abschnitt nachgegangen.

In Österreich gibt es den Kataster³⁴, welcher Gebäude- und Naturbestand im öffentlich zugänglichen Straßenraum festhält. Dieser wurde und wird durch hohe Investitionen erstellt und aktuell gehalten. Die Natur- und die Katasterbestandsdaten - insbesondere die Dachausmittlung (in Deutschland nicht) - werden seit zehn Jahren durch die kommunalen Informationssysteme erfasst. Zum Teil liegen diese Daten auch in dreidimensionaler Form vor. Die folglich zur Verfügung stehenden Daten finden Verwendung als Grundlage für das 3D-Stadtmodell (vgl. Gleixner et al., 1994). Die nicht katastermäßig erfassten Bereiche wurden durch fotogrammetrische Auswertungen ermittelt (siehe Abschnitt 3.4).

Die Fa. Grintec hat ein Softwarepaket *GO-3DM*®³⁵ entwickelt, das aus den oben beschriebenen GIS - Daten automatisch dreidimensionale Objekte erzeugt. Den einzelnen Flächen dieser erzeugten Objekte wurden Texturen zugeordnet. Auf welchem Weg diese Texturen gewonnen und wie diese zugeordnet werden, ist nicht ersichtlich. Somit wird von

³⁴ Kataster i.d.R. Punkte-, Flächen-, Linien-, Textobjekte in einer zweidimensionalen Ebene, Prinzip ähnlich dem deutschen Kataster

³⁵ *GO-3DM* - GIS - Objekte in 3D-Modelle

einer manuellen Gewinnung und Zuordnung ausgegangen. Das Ergebnis konnte dann einem Animationspaket bzw. Werkzeugen zur interaktiven Visualisierung zu Verfügung gestellt werden. Abbildung 16 zeigt die Vorgehensweise der semiautomatischen Generierung eines 3D-Stadtmodells und ist somit relevant in Bezug auf eine möglichst vollautomatisierte Erstellung.

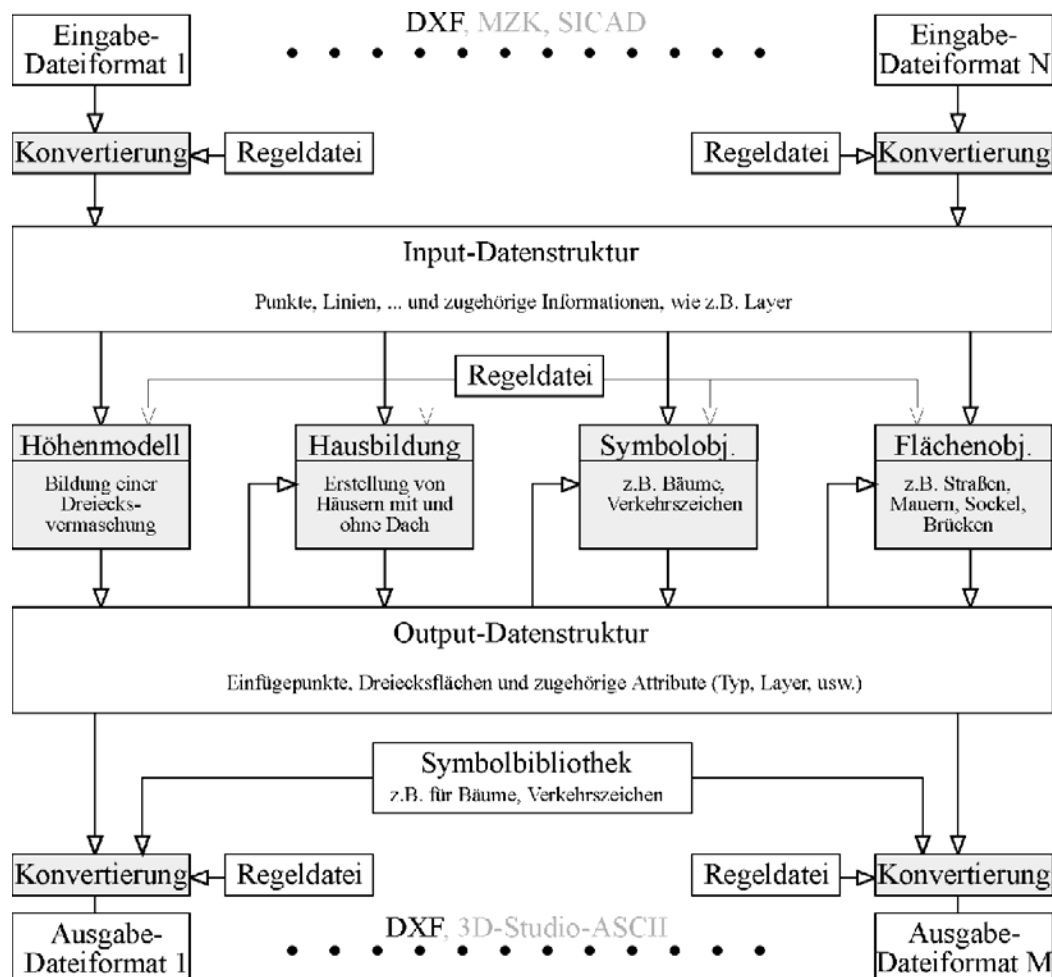


Abbildung 16: Schritte zur Generierung von 3D-Modellen des Softwarepaketes GO-3DM®

GO-3DM® wurde bisher bei einigen Pilotprojekten eingesetzt, bei denen Computeranimationen berechnet wurden (siehe Abbildung 17).

An einem anderen Projekt, *Interaktive Visualisierung und Virtual Reality (VR) - Lange Gasse*, wurde in einer Studie die Machbarkeit von Echtzeitvisualisierungen untersucht. Ziel der Studie war die Bestimmung von Voraussetzungen und Anforderungen hinsichtlich Hard- und Software. Außerdem sollte die Effizienz dieser Methode als Werkzeug für die VR-Stadtplanung erforscht und untersucht werden. Daraus ableitend wurden neue Kriterien für die Datenstruktur des digitalen Stadtplans, vor allem im Hinblick auf eine automatisierte Erstellung des virtuellen Stadtmodells, beschrieben.



Abbildung 17: Projekt *Wien Kagran* mittels *GO-3DM®*

Vergleichbar zum heutigen Stand der Wissenschaft und Technik umfasste das damalige Projekt sehr wenige Objekte, d.h. eine Fläche von 40ha und ca. 50 Häusern mit umgebenen Straßen- und Grünraum (Freiraum). Da es keine nennenswerten Höhenunterschiede im genannten Bereich gibt, wurde außerdem auf ein Geländemodell verzichtet. Straßenseitige Gebäudefassaden (30 Häuser) erhielten eine niedrig auflösende Textur aus manuell nachbearbeiteten Fotografien, in dem sie gescannt, entzerrt und retuschiert wurden. Einzelne, noch fehlende Objekte im Modell, wurden manuell nachmodelliert.

Für die Echtzeitvisualisierung kamen zusätzlich LoD-Techniken zum Einsatz, um einen Performancegewinn zu erzielen. In diesem Fall werden Objekte erst beim Unterschreiten einer vordefinierten Distanz zum Betrachter erstmalig dargestellt. Das Modell war zu dieser Zeit (1994) nur unter erheblich hohem Einsatz von Rechenleistung zu visualisieren und somit für den ausgedehnten Gebrauch mit Blick auf die VR-Stadtplanung nicht zu nutzen.

Gravierender war und ist die Problematik der teilweisen Unvollständigkeit, Unrichtigkeit und Uneindeutigkeit von Katasterdaten: „*Probleme traten dort auf, wo die Topologie nicht stimmte oder dort, wo eine eindeutige Objektbildung nicht möglich war.*“ (Gleixner et al., 1994). In den Datenbeständen von deutschen Katasterämtern sind ähnliche Probleme zu erwarten. Diese Gegebenheit ist bei der Erstellung eines 3D-Stadtmodells frühzeitig zu beachten beziehungsweise zu berücksichtigen.

3.4 Fotogrammetrie als Grundlage für 3D-Stadtmodelle

Unter Fotogrammetrie, die im vorangegangenen Abschnitt in Gebieten der nicht katastermäßig erfassten Bereiche Anwendung fand, versteht man Methoden, aus einem oder mehreren Bildern eines beliebigen Objektes indirekt dessen Form und Lage durch Bildmessungen sowie dessen inhaltliche Beschreibung durch Bildinterpretation zu gewinnen (vgl. Lehmann, 2002).

Das Ziel einer fotogrammetrischen Messung (berührungsloses Messverfahren) ist die exakte dreidimensionale geometrische Rekonstruktion von Objekten, wie in Abbildung 18

veranschaulicht. Erschwert wird die Messung durch Fehlereinflüsse, die bei der Signalaufzeichnung entstehen. Beim gegenständlichen Messverfahren haben optische Verfahren mit Licht als Informationsträger die größte Bedeutung. Fehlereinflüsse sind mechanische Erschütterungen durch Erderschütterungen, optische Abbildungsfehler durch das Linsensystem der Kamera, Veränderung der Abbildung durch Lichtbrechung in unterschiedlichen Luftschichten und durch die Eigenschaften des lichtempfindlichen Sensors (Film, CCD - Sensor). Bei der fotogrammetrischen Auswertung von Gebäuden (Bauwesen) entstehen zusätzlich, durch manuelle Arbeitsschritte, die zum Teil softwaretechnisch bedingt sind, potentielle Ungenauigkeiten.

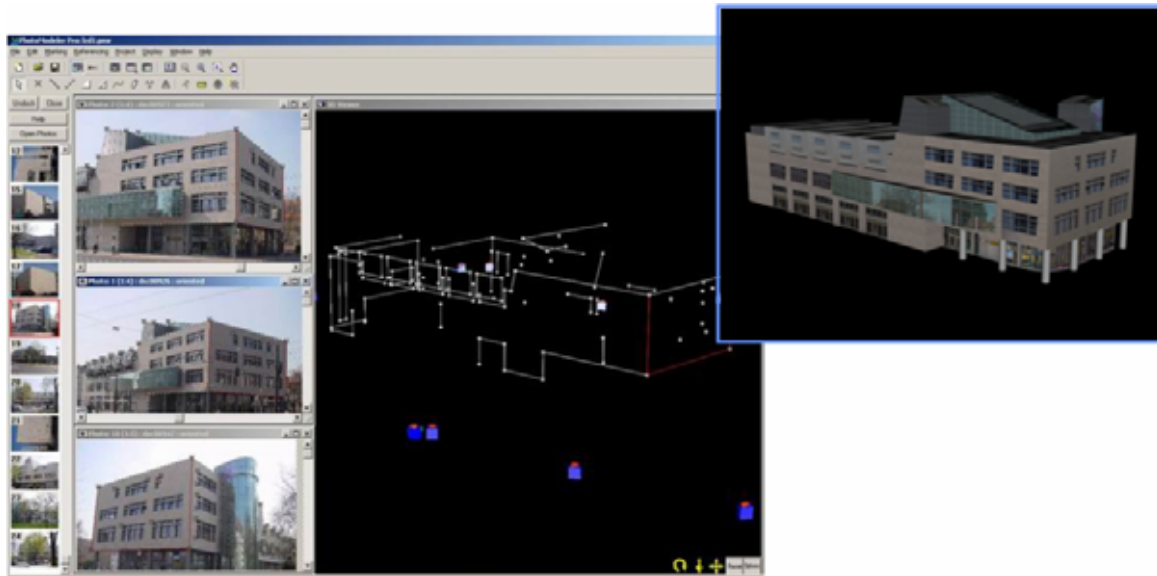


Abbildung 18: Fotogrammetrische Auswertung und Modellierung mit *PhotoMODELLER*®

Zur exakten Rekonstruktion eines Objektes aus Bildern wird der physikalische (optische) Entstehungsprozess einer Bildaufnahme beschrieben. Dazu gehören alle an diesem Prozess beteiligten Komponenten: Lichtquellen, Eigenschaften der Objektoberfläche, Eigenschaften der vom Licht durchlaufenden Medien, Sensor- undameratechnik, Bildsignalverarbeitung, Filmentwicklung, Digitalisierung, etc.

Für die Bildinterpretation und Bildmessung werden Methoden benötigt, die eine Identifizierung eines abgebildeten Objektpunktes aus der Helligkeits- oder Farbverteilung im Bild gestatten. Dadurch ist es möglich, zu jedem Bildpunkt Messwerte in Form radiometrischer Informationen (Intensität, Grauwert, Farbwert) und geometrischer Information (Lage im Bild) zu gewinnen. Aus diesen vorgenommenen Bildmessungen ist das Objekt rekonstruierbar, indem, basierend auf mathematischen Modellen, eine Transformation zwischen Bild- und Objektraum bestimmt wird (vgl. Brown, 1971), (vgl. Luhmann, 2000).

Die Fotogrammetrie ist gegenwärtig die praktikabelste Möglichkeit zur Gewinnung von Informationen für die Erzeugung von sehr detaillierten Gebäudemodellen. Auf Grund des niedrigen Detailgrades der digitalen Stadtgrundkarte bzw. der Katasterdaten kann auf diese Form der Vermessung und damit verbundener Datengewinnung noch nicht verzichtet werden, insbesondere bei höchsten Darstellungs- und Detailsprüchen in der Stadtplanung beispielsweise bei historisch wertvollen Gebäuden.

3.5 Stadtplanung im Unterhaltungsbereich

Bilder und Räume unserer Informationsgesellschaft prägen die Menschen wahrscheinlich stärker in Ihrem Leitbild über die Stadt, als die Fachplaner wahrhaben möchten. Eine der vielen Möglichkeiten, urbanes³⁶ Entertainment zu konsumieren, gar in die Gestaltung des städtischen Lebensraumes einzugreifen, bietet der Städte-Simulator *SimCity3000*® (siehe Abbildung 19). Hier kann der Benutzer in die Welt der Stadtplanung eintauchen und seine eigenen Vorstellungen realisieren, soziologisch und psychologisch gesehen, in der Regel konkurrierend zur vorhandenen Stadt.



(a) Gebäude



(b) Wohngebiet



(c) Biergarten



(d) Rathaus

Abbildung 19: *SimCity3000*® (Electronic Arts, 2002)

Nach Angaben des Herstellers findet das Spiel außerordentlichen Zuspruch, so dass daraus abgeleitet werden kann, dass sich das geäußerte Interesse der Stadtplaner (Abschnitt 2.3) an den Methoden der VR für die Stadtplanung bestätigt und zum Teil in der Bevölkerung widerspiegelt.

Neben den üblichen Aufgaben der Stadtplanung (siehe Abbildung 5, S.10) bietet *SimCity3000*® dem Nutzer unter anderem die Möglichkeit der Simulation von natürlich oder gesellschaftlich bedingten Zerstörungen, die Katastrophen verursachen (siehe Abbildung 20). Hinzu kommen die interaktive Gestaltungsmöglichkeit der Städte und die Vermittlung, wie Stadt und Stadtpolitik funktionieren. Programmiert sind u. a. Abhängigkeiten z.B. von der Anzahl der Polizeistationen zur Kriminalitätsrate, der Investition zur Verödung (Verslumung), vom getätigten Straßenbau zum Verkehrsfluss. Besonders erwähnenswert ist

³⁶ Urbanisation - durch städtebauliche Erschließung entstandene moderne Siedlung

die „Untergrundebene“ in der Wasser- und U-Bahnnetze angelegt werden. Alle diese Funktionen werden durch die Verknüpfung von kulturellen und technischen Infrastrukturen ergänzt. Der Benutzer kann „seine“ Stadt direkt auf Fußgängerniveau begehen, aus der Vogelperspektive oder mit einem Helikopter erkunden. Hierbei erweist sich wiederum die Möglichkeit der Fußgängerperspektive als Neuheit gegenüber altherkömmlichen Spielen. Während der computergestützten Erkundung dienen dabei detaillierte dreidimensionale Darstellungen besonders der Anschaulichkeit.



(a) Simcopter



(b) Bevölkerung, die Sims



(c) Katastrophe



(d) Nachterlebnis

Abbildung 20: *SimCity3000*® (Electronic Arts, 2002)

Interaktionsmöglichkeiten bestehen neben der direkten Manipulation an und in³⁷ Gebäuden auch in der Kommunikation³⁸ mit der Bevölkerung - den Sims (vgl. Becker et al., 1998).

Im Ergebnis zeigt *SimCity3000*® im besonderen Maße, dass Details und Interaktionen wichtig für Immersion und Imagination sind. Folglich muss bei der Erstellung einer 3D-Stadtvisualisierung, die nicht nur für die Stadtplanung, sondern auch für die Bürgerinformation dienlich sein soll, besonderes Augenmerk auf die Modellbestandteile und –funktionalitäten gelegt werden. Zwingend muss sich der Betrachter oder Benutzer in der Szene orientieren und wiederfinden, so dass im Modell implementierte Neuheiten (Planungsvarianten) umgehend ein- und zugeordnet sowie erprobt und abgewogen werden können.

³⁷ Mikrosimulatoren sorgen dafür, dass zum Beispiel Restaurantpreise beeinflusst und Klimaanlage ein- und ausgeschaltet respektive die Bewirtschaftung organisiert und damit verbundene Besucherraten gesteuert werden können.

³⁸ Befragung der Bevölkerung, Analyse der Bevölkerung nach Hautfarbe, Gesicht und Kleidung

3.6 Zusammenfassung, Auswertung, Schlussfolgerung

Die vorgestellten Arbeiten lassen sich kurz zusammenfassen und auswerten.

Im ersten Abschnitt wird eine virtuelle Stadt vorgestellt. Bei diesem Beispiel handelt es sich um den bisherigen Primus aller bis dato von der *db - deutschen bauzeitung* betrachteten virtuellen Städte. Erkenntnis ist, dass es bisweilen kein 3D-Stadtmodell gibt, welches den Anforderungen der VR-Stadtplanung vollständig genügt. Gute Lösungsansätze sind in den Navigations-, Informations- und Interaktionsmöglichkeiten zu finden. Fragestellungen ergeben sich lediglich durch die Ladedauer der Szenarios und bei der Konzipierung einer übersichtlichen Menügestaltung.

Der zweite Abschnitt beschäftigt sich mit der automatisierten Erstellung von Stadtszenarien, basierend auf den vom Benutzer zur Verfügung gestellten Datenkarten und zufälligen Prozessen. Innovativ zeigt sich diese Art der Erstellung nicht bei der Ist-Zustands-Visualisierung, sondern bei der Schaffung von städtebaulichen Planungsvarianten, welche letztlich nur noch einer Evaluierung durch kompetente Gremien bedürfen. Bemerkenswert ist zudem die Speicherung der Geometrien und Texturen in Form von textuellen Beschreibungen.

Im dritten Abschnitt wird der Nutzung von GIS-Daten für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells nachgegangen. GIS ist das Standardsystem der Vermessungslehre und -zunft. Beleuchtet wird unter anderem die Mächtigkeit der GIS-Datensammlung und die daraus resultierenden Probleme hinsichtlich Aktualisierung und Vollständigkeit des Systems. Außerdem betrachtet dieser Abschnitt die Performanceoptimierung für eine Echtzeitvisualisierung und bietet hierfür Lösungsansätze, wie beispielsweise die LoD-Techniken, an. Letzten Endes bedient sich diese Arbeit zur Komplettierung des Modells auch der Fotogrammetrie, die anschließend aufgegriffen wird.

Die Fotogrammetrie (vierter Abschnitt) stellt gegenwärtig das praktikabelste Außer-Haus-System für eine exakte geometrische Rekonstruktion von großen Objekten dar. Zudem ist es durch heutige digitale Foto- und Softwaretechnologien leichter als noch vor einigen Jahren auszuführen. Die fotogrammetrische Auswertung zeichnet sich durch eine hohe Genauigkeit aus und ermöglicht dadurch einen beträchtlichen Detailgrad, ähnlich dem in hochwertigen 3D-Computerspielen.

Ein hoher Detailgrad ist unabdingbar für eine nachhaltige Immersion. Wie Details bereits in der Unterhaltungsbranche eingesetzt werden und welche Möglichkeiten sich daraus für die Interaktivität ergeben, beschreibt der fünfte Abschnitt. Für die Klärung und Konzeption der Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung können hiervon wesentliche Methoden abgeleitet, respektive fortgeführt und weiterentwickelt werden.

Eine Kombination aller vorgestellten Arbeiten ist ein idealer Ansatz für eine automatisierte Generierung eines 3D-Stadtmodells. Verfolgenswert sind insbesondere die Interaktionsmöglichkeiten im virtuellen Straßburg, die prozedurale Generierung für zukünftige Planungen, die fotogrammetrische Auswertung, um höchsten Ansprüchen zu genügen, und nicht zuletzt die Wirkung des Detailreichtums von *SimCity3000*®.

Abschließend ist festzustellen, dass bereits eine große Anzahl von dreidimensionalen Anwendungen, die mehr oder weniger mit Stadtplanung, Städtebau oder Architektur in Beziehung stehen, existiert. Je nach Anforderungsprofil und Rahmenrichtlinien, weichen

diese Einzelergebnisse voneinander ab. Teilweise mit viel Fleiß und Liebe zum Detail erstellt, aber nicht der Realität entsprechend, hat keine der bisher vorgestellten Arbeiten die Möglichkeiten der VR grundlegend und umfassend genutzt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt steht für eine notwendige weitere Untersuchung, d.h. Ansicht, Analyse bzw. Wertung, kein virtuelles 3D-Stadtmodell im definierten Sinne der VR-Stadtplanung und deren Anforderungen zur Verfügung. Deshalb ist es zwingend notwendig, andere Anwendungsgebiete der VR-Technologie zu betrachten. Eine der Vorreiterrollen spielt hierbei die Thematik *Digitale Fabrik*. Demzufolge beschäftigt sich der anschließende Abschnitt mit dem Thema VR in der Produktentwicklung.

3.7 Virtuelle Realität - Technik in der Produktentwicklung

Die vorangegangenen Abschnitte dieses Kapitels beleuchten verschiedene Methoden und zeigen Ergebnisse verwandter und sachbezogener Thematiken der VR-Stadtplanung auf. Grundsätzlich berücksichtigt nicht eine der beschriebenen Abhandlungen die Möglichkeiten und Chancen der VR nachhaltig.

Abschließend zum zweiten Kapitel ist eine Betrachtung vom Einsatz der VR in der *Digitalen Fabrik* notwendig. Um das beschriebene Defizit auszugleichen, wird dem Einsatz der VR speziell in der Produktentwicklung nachgegangen.

Beim heutigen Stand der Wissenschaft und Technik wird die Virtuelle Realität nur zu einem geringen Teil erfasst und genutzt. Um die VR als Grundlage in Entwicklungsprozesse der Produktion zu integrieren, ist die ständig durchgängige Nutzung eines rechnerinternen generierten und verwalteten virtuellen Modells nötig. Es bedarf demzufolge der Virtualisierung gesamter Zyklen von Produkten (siehe Abbildung 21).

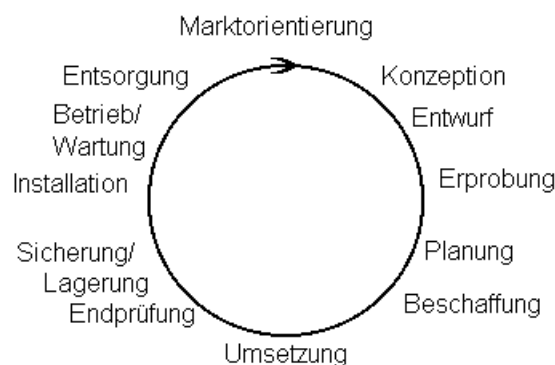


Abbildung 21: Produktlebenszyklus (www.uni-stuttgart.de/External/gi-rg-s/softwe.html)

Ein konsequent digitalisierter Produktlebenszyklus eröffnet effizientere Möglichkeiten, beispielsweise der Simulation von Produktionsfunktionen, der Untersuchung der Realisierbarkeit (Baubarkeit) oder neuer Modellierungstechniken für Styling und Konstruktion [27], (bzgl. [...] siehe Abschnitt 2.3). Der Produktlebenszyklus (siehe Abbildung 21) ist unmittelbar mit dem städteplanerischen Entwicklungszyklus (siehe Abbildung 1, S.2) vergleichbar, so dass Strategien und Taktiken der VR-Technologien der Produktionstechnik auf die der Stadtplanung abgeleitet werden können.

Mittlerweile wird VR auch in der Produktion, ebenso wie in der Stadtplanung, als die zukünftige Mensch-Maschine-Schnittstelle (siehe Abbildung 9, S.17) angesehen. Sie bietet dem Benutzer durch ihre Dreidimensionalität eine virtuelle Umgebung, die intuitiv und erfahrungsbasiert den Bezug zu realen Verhältnissen vermittelt. Wie eine virtuelle Umgebung aussehen kann, zeigt die Abbildung 22.



Abbildung 22: Die *Responsive Workbench* ermöglicht die direkte Interaktion mittels Werkzeugen in einer immersiven Umgebung (IPK, 2002)

Kongruent zur Stadtplanung (siehe Abschnitt 1.2) liegen in der Produktionstechnik die Schwerpunkte bei der Evaluierung von Planungen („Planung der Planung“ / Produktvarianten) und bei der subjektiven Wahrnehmungsvorhersage des Menschen (beispielsweise von Fahrzeuginnenräumen zur Präsentation im Marketing und Vertrieb). Dabei wird die VR als eine der Schlüsseltechnologien für die Umsetzung von Visionen gesehen. Internationale Konzerne, vor allem die Automobilindustrie, gehen im Bereich der Fabrikplanung bereits soweit, dass sie ab dem Jahr 2005 alle Neubauten komplett, bis hin zu Produktionsabläufen (*virtuelles Produkt*), digital durchplanen lassen und das vor Baubeginn [27], (bzgl. [...] siehe Abschnitt 2.3).

Das virtuelle Produkt

Ein virtuelles Produkt bringt einen Mehrwert gegenüber seinem realen Pendant oder einem Prototypen mit. Es ist Informationsträger einer vollständig rechnerbasierten Produktentwicklung und eine realistische Darstellung mit allen geforderten Funktionen für alle Phasen des Produktlebenszyklusses.

Im Einzelnen werden bei der Erstellung des *virtuellen Produktes* die Produktplanung (Design, Konstruktion und Arbeitsplanung), die Fertigung, das Recycling und der Servicebereich betrachtet. Dazu ist ein Datenbestand erforderlich, der alle Produktdaten vollständig erfasst. Darüber hinaus müssen Werkzeuge zur realitätsnahen Interaktion mit dem Produkt entwickelt werden. Zu diesen Werkzeugen zählen: Simulations- und Berechnungssysteme, innovative

Modellierungssysteme sowie *Digital-Mock-Up*- und *eDMU*³⁹-Funktionen. In ähnlicher Art und Weise muss ein Konzept zur Erstellung und Nutzung von 3D-Stadtmodellen aussehen.

Zu den erwähnten Systemen kommen weitere zur Anwendung, die den Produktentwicklungsprozess organisieren (Projektmanagement), den Abgleich zwischen realem und virtuellem Produkt gewährleisten sowie die Kooperation zwischen Beteiligten optimieren (CSCW⁴⁰) und die Daten nutzungsorientiert darstellen.

Die praktische Nutzung der VR reicht im Maschinenbau bis zum *Virtuellen Training*, so dass Produkte bereits vor Produktionsanlauf hinsichtlich ihrer Wartungsfreundlichkeit und Handhabung untersucht werden können. Die dadurch frühzeitig gewonnenen Erkenntnisse, z.B. in Konstruktion oder Gebrauch, können unmittelbar in die Planung einfließen. In gleicher Weise kann zukünftiges Servicepersonal durch *Virtuelles Lernen* an Produkten geschult werden, die entweder in der Realität noch nicht existieren oder deren Vorhaltung für eine Schulung sehr problematisch (Flugzeugbau) sind. Ähnliche Wirkungen und Fortschritte sind in der Stadtplanung abzusehen.

Da die VR-Technik noch nicht in allen Phasen der Produktentwicklung gleichermaßen eingesetzt wird (siehe Abbildung 23), können auch deren Potenziale nicht vollständig ausgeschöpft werden. Es lassen sich Parallelen zu ungenutzten Potenzialen in der VR-Stadtplanung finden:

VR - Technik

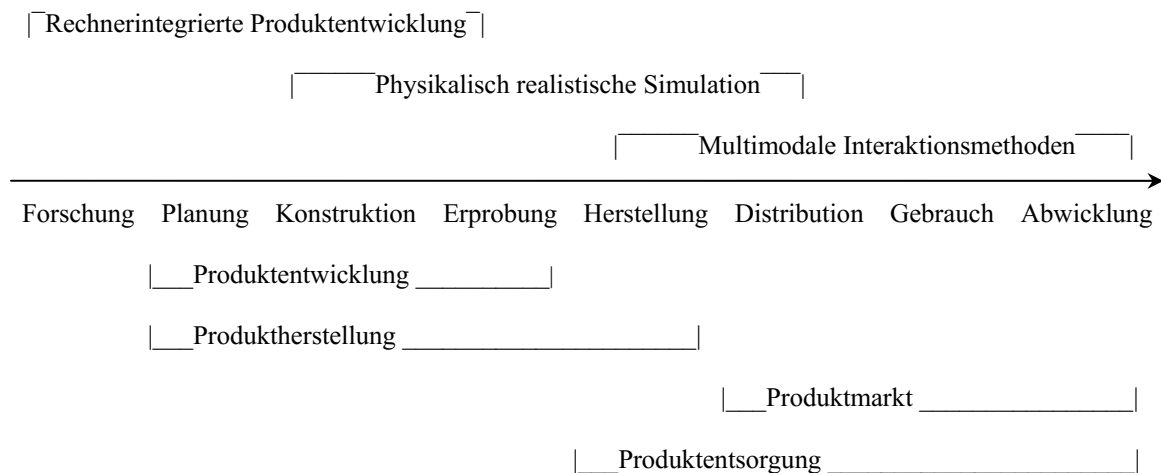


Abbildung 23: detaillierte Entwicklungsphasen eines Produktes

³⁹ eDMU - Ein *erweitertes Digital-Mock-Up* ist nach Definition des Fraunhofer IFF eine virtuelle Repräsentation von Produkten im Prototypenstadium auf Basis von CAD-Daten, die neben der Geometrie auch Abbildung von Funktionsweise und Verhalten eines neuen Produktes ermöglichen. Weiterhin sind relevante Informationen für den Entwicklungsingenieur bzw. -konstrukteur an das digitale Modell gebunden und die graphische Repräsentation steht als Schnittstelle für den Zugriff auf diese Daten zur Verfügung.

⁴⁰ CSCW - Computer Supported Cooperative Work

- Hoher manueller Aufwand für die Erstellung von Szenarien (siehe Abschnitte 3.3, 3.4)
- Ungenügende Interaktion mit den Modellen
- Hoher Investitionsbedarf von VR-Hardwaresystemen
- Geringe Verbreitung von VR mit einhergehender Modellierungsmöglichkeit
- Mangelnder Datendurchsatz bestehender Netzwerke für VR - Konferenzen (siehe Ladedauer virtuelles Straßburg - Abschnitt 3.1)
- Sorge vor Daten- und Informationsverlust, resultierend auch durch Industriespionage

Die aufgeführten Argumente sind die Hauptursachen für den geringen Verbreitungsgrad von VR-Anwendungen. Eine wirksame Verbreitung und unternehmens- bzw. ortsübergreifende Nutzung aus Sicht der Produkt- und Stadtplanung werden in ihrer Entwicklung gehindert.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt konzentrieren sich die Aktivitäten auf eine bessere Integration der Entwicklungsprozesse durch direkte Nutzung oder automatische Aufbereitung von CAD-Daten. Hier lassen sich wiederum Parallelen zum eigentlichen Thema der vorliegenden Arbeit finden. Zukünftig sollten auch Verschleiß, Korrosion oder Verschmutzung in dreidimensionalen Modellen analysierbar sein. Damit werden Wartungsaspekte, Produktgebrauch und -abwicklung erforschbar und analysierbar.

Die genannten Anforderungen der Produktion an ein 3D-Modell (*virtuelles Produkt*) entsprechen in vergleichbarer Weise dem Anforderungskatalog an ein 3D-Stadtmodell zum Zwecke der VR-Stadtplanung (siehe Tabelle 1, S.20). Kann daraus folgen, dass bereits erwähnte Erkenntnisse und Fortschritte der Industrie mit der VR-Technologie auch auf die Stadt / Stadtplanung ableitbar sind?

Syllogismus :

1. Eine Stadt weist begründete Ähnlichkeiten zu einer Maschine auf. Funktioniert ein relevantes Element nicht ordnungsgemäß, so ist die Funktionsweise generell gefährdet.
2. Eine Maschine ist meistens ein industrielles Produkt. Produkte sind Erzeugnisse und Güter zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse und Belange.
3. Folglich ist eine Stadt(!) ein Produkt vielmehr eine virtuelle Stadt ein *virtuelles Produkt*.

Somit können Erfahrungen mit, Kenntnisse durch und Maßnahmen für die/der Virtuellen Realität in der Produktion auf die Stadt appliziert werden. Da die virtuelle Produktvisualisierung in der Forschung, Entwicklung und der praktischen Anwendung fortschrittlicher ist als herkömmliche gesamtstädtebauliche Visualisierungssysteme, können bereits hier erreichte Ziele und geschöpfte Potenziale für die Erstellung von 3D-Stadtmodellen genutzt werden.

Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung

Das Hauptaugenmerk dieses Kapitels liegt bei der Beschreibung einer Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung an den Beispielen der Magdeburger Altstadt und der Trabantensiedlung Neu-Olvenstedt. Praktische Ergebnisse in Form von Bildschirmdarstellungen und Präsentationsfotos sind im nachfolgenden Kapitel zu finden.

Eine der grundlegenden Entscheidungen ist die Festlegung der Bestandteile, aus denen ein virtuelles Stadtmodell besteht. Hierzu kann sich an einer realen Stadt orientiert werden. Nach Festlegung dieser Bestandteile ist eine dementsprechende Hierarchie für ein Gesamtmodell zu konzipieren. Diesbezüglich sind die gegebenen Ordnungssysteme der Ausgangsdaten zu betrachten und zu bewerten (geotechnische Rahmenbedingungen). Nach der Erzeugung aller Modellbestandteile sind diese auf Basis der definierten Hierarchie zu einem Gesamtmodell zu vereinen (Integration aller Bestandteile) und in Echtzeit zu visualisieren. Dabei sind insbesondere VR-Methoden zu implementieren. Diese beschriebene Abfolge der Themen und Aufgaben ist zugleich die inhaltliche Gliederung dieses Kapitels.

Bei der Erstellung eines 3D-Stadtmodells, sind verschiedene Bestandteile zu betrachten und zu erzeugen. Diese Bestandteile lassen sich prinzipiell in:

1. Topologie / Geländemodell (digitales Geländemodell - DGM)
2. Gebäude / technische und bauliche Anlagen (digitale Stadtgrundkarte - dSGK)
3. Freiräume / Vegetation (digitales Baumkataster - dBK) und
4. Sonstige Objekte und Anlagen

aufteilen. Hierbei wird im Erstellungsprozess der jeweiligen Modelle, bedingt durch verschiedene Ausgangsdaten, letztendlich eine Modell-*Hierarchie* bzw. eine Gliederung, wie diese in Abbildung 24 dargestellt ist, angestrebt, so dass sich alle Modellbestandteile leicht in ein Gesamtmodell integrieren lassen. Die Behandlung der einzelnen Modellteilstücke erfolgt in den Abschnitten 4.1 bis 4.4 .

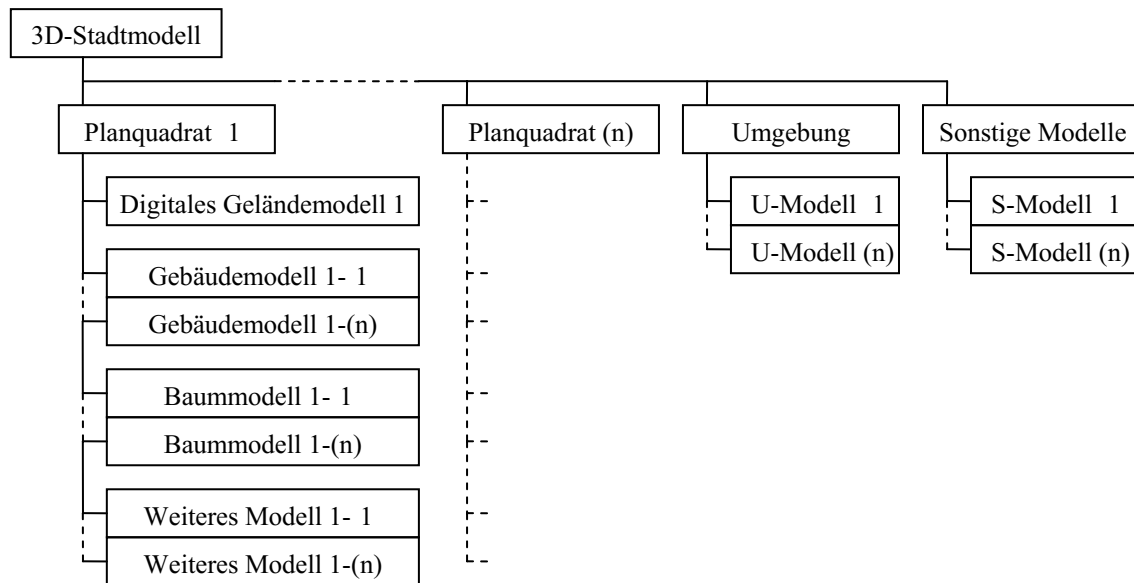


Abbildung 24: angestrebte Hierarchie des 3D-Stadtmodells

In den zuvor benannten Abschnitten werden die jeweiligen Modellbestandteile einer virtuellen Stadt im Detail beschrieben, bewertet und umgesetzt, zum Abschluss in ihrer Methodik besprochen. Grundsätzlich wird für das Gesamtszenario die in Abbildung 24, S.42 dargestellte Hierarchie angestrebt. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, weitere geotechnische Rahmenbedingungen und gegenwärtige Forschungsarbeiten zu betrachten und in die Konzeption einfließen zu lassen.

Geotechnische Rahmenbedingungen und Lösungsansätze

Für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells stehen die verschiedensten Ausgangsdaten zur Verfügung. Meist liegen diese Daten im *Global Information System* Format (GIS) vor. Das GIS-System ist vorwiegend UNIX basiert (vgl. openGIS, 2000). Topografische Karten, Fotos, Höhenfestpunkte und Kataster sind die wesentlichen Grundlagen für die Generierung eines 3D-Stadtmodells. Diese Daten stehen üblicherweise in digitaler Form zur Verfügung. Seitens Ihrer Erstellung und der Latenz in ihrer Aktualisierung kommt es häufig zu unrichtigen, unvollständigen und mehrdeutigen Angaben. So lassen sich beispielsweise Objekte in den Ausgangsdaten finden, die in der Realität längst nicht mehr vorhanden sind. Da diese Kontrolle schwer automatisiert zu beherrschen ist, bedarf es im Einzelfall einer Vor-Ort-Prüfung und manuellen Korrektur.

Noch vor einigen Jahren war die Visualisierung bzw. Animation großer Stadtgebiete auf einem lokalen Hochleistungs-PC nicht möglich und wegen der hohen Zugriffszeiten und dem geringen Datendurchsatz nicht sinnvoll. Heutzutage ist diese Problematik gelöst. Daher ist die Speicherung von hochqualitativen 3D-Daten und deren Visualisierung lokal möglich.

Als weiterführende Maßnahme bietet sich hier der nachfolgende Sachverhalt an. Die Einrichtung einer zentralen Speicherung für die Daten, die beispielsweise auf dem so genannten SICAD Geodatenserver aufsetzt, wäre u. a. sinnvoll. Der SICAD Geodatenserver ist die geographische Datenbank des Geoinformationssystems SICAD/open, welches es schon heute ermöglicht, Geo- und Sachdaten zentral zu speichern (vgl. Ziegler, 2002).

Ein Geodatenserver dieser Art müsste ein 2D/3D GIS-Datenserver mit einer Referenzdatenbank sein, d.h. Daten wie Massepunkte, Bruchkanten, Formlinien,

fotogrammetrisch erfasste Primärdaten. Gleichwohl müssten hier die Daten des gesamten Drahtmodells⁴¹ generiert und abgelegt werden, so dass durch die zentrale Speicherung immer ein aktueller Bestand des 3D-Stadtmodells gewährleistet wird.

Dieses Thema ist sehr umfangreich und erfordert eine grundlegende Analyse, Planung sowie Umsetzung, da hierfür etablierte Daten-Systeme des Stadtplanungsamtes angepasst werden müssten. Daher könnte dieses Thema unter anderem Gegenstand einer weiterführenden Arbeit sein.

Um der Anforderung aus Tabelle 1, S.20 nach Mobilität und damit einer ortsunabhängigen Weiterverwertbarkeit gerecht zu werden, wird hier die Realisierung einer lokalen PC-gerechten Lösung beschrieben. Zu diesem Zweck gilt es, die Übernahme und Weiterführung des 500x500m Stadtgrundkarten-Systems (Q500) zu untersuchen (siehe Abschnitt 4.2.1). Das 3D-Stadtmodell wird in der Konsequenz bedarfsgerecht zur Verfügung stehen, d.h. in Anlehnung an das Stadtgrundkarten-System abschnittsweise (kachelweise) erzeugt, gespeichert, geladen und visualisiert werden. Durch diese Vorgehensweise ist eine beliebige Fortführung, Aktualisierung und Erweiterung des 3D-Stadtmodells gewährleistet. Eine komplette Neugenerierung des Modells wäre somit bei Erweiterungs- oder Aktualisierungsmaßnahmen nicht nötig.

Die erwähnten Ausgangsdaten werden im ersten Schritt manuell bzw. semiautomatisch aufbereitet. Als Ergebnis erhält man „bereinigte“ Inputdaten. Die gewonnenen Informationen stehen somit für die automatisierte Generierung des Szenarios zur Verfügung (siehe Abbildung 25).

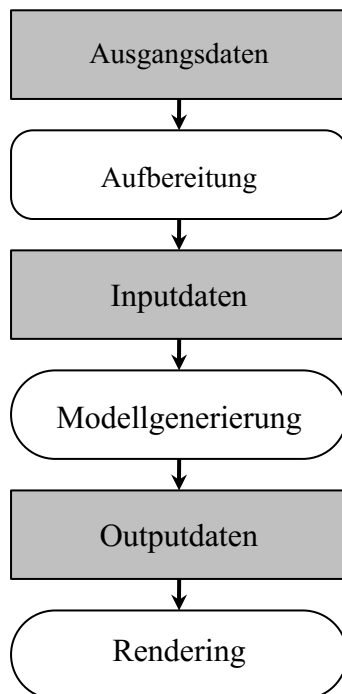


Abbildung 25: globales Lösungskonzept von den Ausgangsdaten bis zur Visualisierung

⁴¹ Hierunter ist die Zerlegung von 3D-Modellen in einzelne Polygone zu verstehen. Im Allgemeinen handelt es sich hierbei um Dreiecke / Vierecke, die zu einem zusammenhängenden Netz, dem so genannten Triangular Irregular Network (TIN), zusammengefasst werden.

4.1 Terrain

Eines der wesentlichsten Bausteine für eine realistische Visualisierung einer Stadt ist das Geländemodell (siehe Abschnitt 2.3.2). Das Einbringen eines digitalen Geländemodells (DGM), auch digitales Höhenmodell (DHM) genannt, vermittelt und suggeriert eine realistische topologische Darstellung der Landschaft. Die Höhenlandschaft hat unter anderem einen wesentlichen Einfluss auf die Prägung eines Stadtbildes. So erzielen beispielsweise Gebäude gleicher Stockwerksanzahl und gleicher Gebäudehöhe durch unterschiedliche Höhenlagen grundlegend verschiedene städtebauliche Wirkungen.

4.1.1 Digitales Geländemodell

Ein DGM stellt das Gelände durch Koordinaten-Tripel (y, x, z) dar. Die Punkte werden als Höhenfestpunkte (HFP) aufgenommen und kartographiert. Die Anordnung der Punkte liegt im Allgemeinen in einem Raster mit gleichen Seitenlängen vor. Topologisch relevante Gegebenheiten, z.B. Flussläufe, in der Höhe variable oder nicht zugängliche Gebiete, sind unregelmäßig im Raster vorzufinden. HFP sollen nach der Zeichenvorschrift der Stadtgrundkarte höchstens 300 m Abstand voneinander haben. In der Nähe von Bauwerken sind verfürgungsgemäß mindestens zwei HFP eingemessen. Höhenangaben zwischen den Punkten erhält man durch Interpolation (vgl. Wendehorst, 1994).

Krasowski und Bessel

Die Ausgangsdaten für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells stehen in den verschiedensten geodätischen Systemen zur Verfügung. Die für das 3D-Stadtmodell wichtigen Daten liegen in zwei unterschiedlichen Systemen vor: Georeferenzierung nach Krasowski und Bessel.

Der Unterschied dieser zwei Systeme ist leicht zu erklären. Die Erde, die keine Kugel ist, lässt sich am ehesten als Rotationsellipsoid beschreiben (siehe Abbildung 26).

<i>Ellipsoid</i>	<i>Abdeckung</i>	<i>a-kleine Hauptachse</i>	<i>b-große Hauptachse</i>
Krasowski	25%	6.378.245m	6.356.863m
Bessel	20%	6.377.397m	6.356.079m

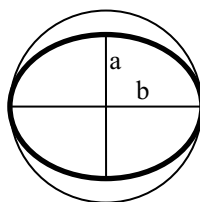


Abbildung 26: Ellipsoid

Zu dieser Erkenntnis kam Newton bereits im 17. Jahrhundert. Mittlerweile gibt es über 200 verschiedene Ellipsoide in der Kartographie und Geodäsie. Diese Vielfalt resultiert aus unterschiedlichen Annäherungsmethoden an die Krümmung der Erdoberfläche von verschiedenen Staaten und Institutionen. Allgemein gebräuchlich sind heutzutage wenige Annäherungsmethoden, wie z.B. International E. (WGS84, GRS80), Krasowski, Bessel und Clarke 1880, die sich insgesamt auf 93% der kartierten Landmassen beziehen. Bei einem Vergleich von Landkarten mit unterschiedlichem Basisellipsoid ist sofort zu erkennen, dass ein und derselbe Höhenfestpunkt (HFP) unterschiedliche Koordinatenwerte besitzt. Der Unterschied kann je nach Örtlichkeit eine Verschiebung von mehreren Dutzenden an Metern aufweisen (vgl. Smith, 1988).

Die notwendigen Daten für die Erzeugung eines DGM-Polygonmodells stehen als Geländemodellbeschreibung in Bessel-Koordinaten zur Verfügung. Infolge der noch zu begründenden Festlegung, dass die digitale Stadtgrundkarte (dSGK) das Fundament für das zu erzeugende 3D-Stadtmodell bildet (siehe Abschnitt 4.2.1), muss das Geländemodell in Krasowski-Koordinaten transformiert werden (vgl. Schmidt & Irrgang, 2001). Hierfür stehen diverse Programme aus der Geodäsie zur Verfügung.

Bewertung vom DGM

Bevor ein DGM als geometrische Grundlage für ein Geländemodell verwendet wird, ist dessen Eignung anhand von zwei wichtigen Qualitätsmerkmalen abzuwägen und zu bewerten:

1. Rasterabstand,
2. Erstellung und Interpolationsmethode.

Das DGM von Magdeburg liegt in zwei unterschiedlichen Qualitätsstufen vor. Beide Höhenbeschreibungen bestehen im Wesentlichen aus HFP mit entsprechenden Werten. Der Qualitätsunterschied ist in der Detailliertheit, d.h. im Rasterabstand von zehn bzw. 50 Metern der Lagekoordinaten untereinander, begründet. Letzterer Rasterabstand ist für die Stadtplanung zu ungenau und somit ungeeignet. Obgleich im 10-metrigen DGM-Raster Informationen fehlen (z.B.: Bruchkanten, die starke Geländeversprünge beschreiben, wie Deichanlagen und Uferzonen), genügt es den geringen Anforderungen der Stadtplanung an ein 3D-Stadtmodell. Die HFP liegen jeweils im ASCII- und DXF-Format vor (siehe Abbildung 27). Um höheren Anforderungen gerecht zu werden, müsste ein Höhenmodell mit einem Rasterabstand von einem Meter zur Verfügung stehen. Alternativ könnten hierzu Höhenlinien herangezogen werden (vgl. Heitzinger & Kager, 1998). Die Implementierung einer LoD-Technik ist bei diesem niedrigen Detailgrad nicht erforderlich bzw. zweckmäßig.

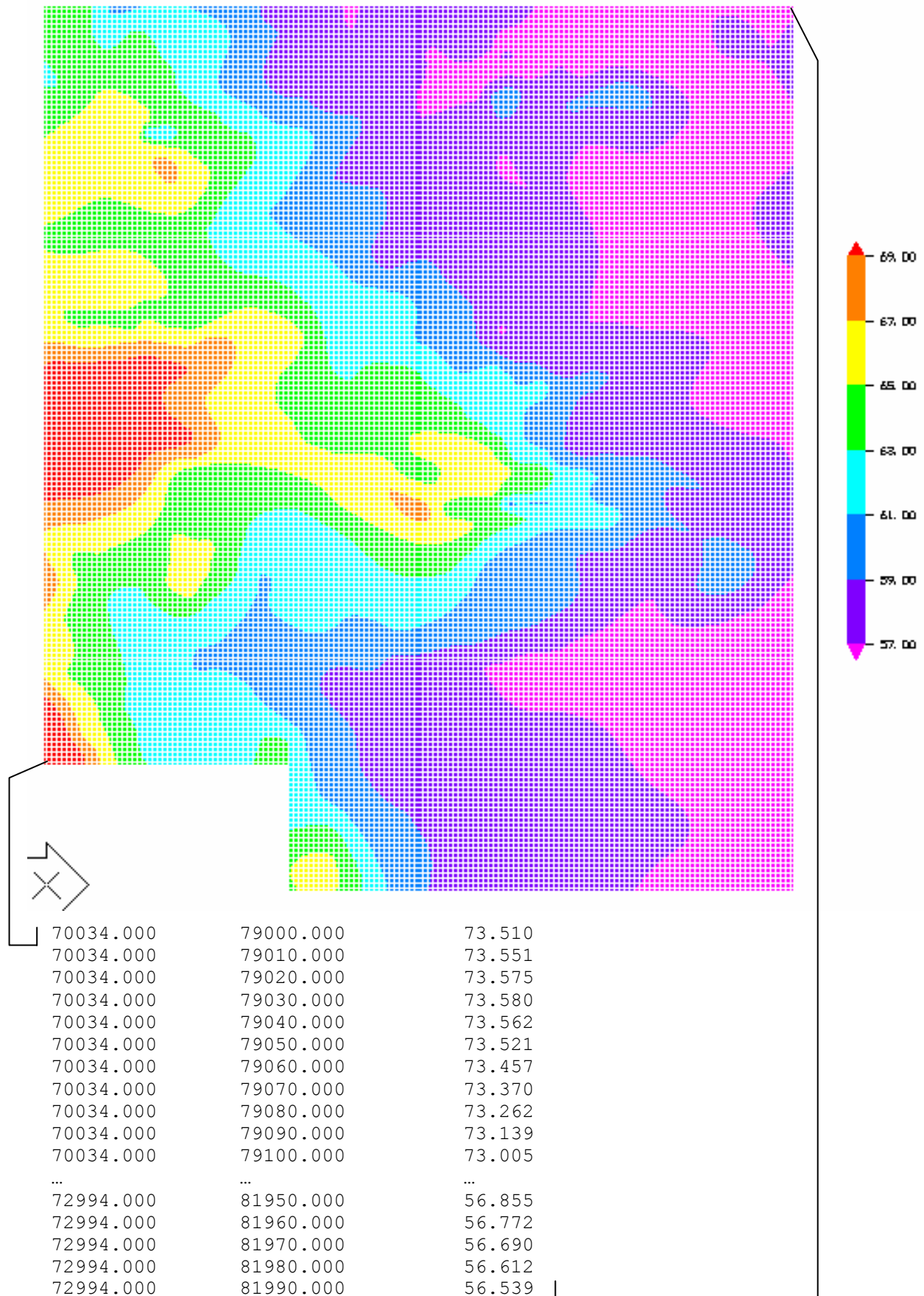


Abbildung 27: DGM in ASCII- und in höhenabhängiger Farbverlaufs-Darstellung (Krasowski-Koordinaten)
am Beispiel von Neu-Olvenstedt

Als ein weiteres Qualitätsmerkmal bietet sich die Betrachtung des Interpolationsverfahrens an. Beispielsweise ist ein interpoliertes DGM aus gerundeten Höhenwerten ohne manuelle Korrekturen ungeeignet, da hierbei ebenfalls wichtige Bestandteile (Mauern, kleinere Wallanlagen, etc.) verloren gehen. Zudem müssen die Neigungsverhältnisse der Höhenfestpunkte untereinander erhalten bleiben. Ein oft genutztes Mittel ist das Interpolationsverfahren nach Kriging. Das Kriging-Verfahren berücksichtigt die Konstellation der Nachbarpunkte hinsichtlich ihres Abstandes zum zu schätzenden Punkt und hinsichtlich ihrer Clusterung (vgl. Stein, 1999).

Erst nachdem eine DGM qualitativ eingeschätzt wurde, kann bestimmt werden, inwieweit es für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells geeignet ist (vgl. Naef & Subak, 2002).

4.1.2 Generierungsmethodik Terrain

Nachdem das DGM in seiner Eignung abgeschätzt wurde, können die inhaltlichen Daten weiterverarbeitet werden. Die DGM-Daten liegen als 3D-Punkte im Krasowski-Koordinatensystem vor. Sie beschreiben den Höhenwert (z) in einer entsprechenden topografischen Lage (x,y). Insgesamt enthält das DGM somit Höhenfestpunkt (HFP), die die gesamte Topologie einer bestimmten Landschaft annähert.

Die gegebenen HFP des DGMs werden untereinander zu einem Polygonnetz verbunden (siehe Abschnitt 5.1). Dabei auftretende Doppel-HFP und Bereiche nicht zu definierender oder variabler Höhe, beispielsweise Flüsse und Seen, sind gegebenenfalls gesondert zu behandeln. Für diese Erzeugung eines 3D-Geländemodells stehen diverse geodätische Softwareprogramme (z.B.: *Metris*®) zur Verfügung. Im Grunde wird hierbei eine Repräsentation eines Polygonnetzes erzeugt (vgl. Foley et al., 1990), (vgl. Angel, 1990).

In seiner Datenmenge ist das Geländepolygonnetz weiterhin zu optimieren. Punkte, die eine topologische Region beschreiben, können unter gewissen Bedingungen zusammengelegt werden. Diese Punkte dürfen dabei die Topologie der Landschaft in ihrer Erscheinung nicht verändern. Ein Verfahren zur Optimierung stellt unter anderem das *Edge Collapse* dar (vgl. Hoppe, 1996). Diese kann bei nachbarschaftlich koplanaren Polygonen angewendet werden. Da die Wahrscheinlichkeit einer 100-prozentigen Koplanarität von nachbarschaftlichen Polygonen im Geländemodell sehr gering ist und auch eine Zusammenlegung von annähernd koplanaren Polygonen nicht den Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell widerspricht, kann je nach Qualitätsanspruch ein Divergenzmaß festgelegt werden, das es ermöglicht, topologisch ebene Formationen in ihrer geometrischen Repräsentation zusammenzufassen.

Erst im Anschluss an diese Operation kann das Geländemodell in kachelartige Parzellen jeweils entsprechend der dSGK zerlegt werden (siehe Abschnitt 4.2.1), um der angestrebten Modellhierarchie zu entsprechen. Dadurch wird der nahtlose Übergang der Geländeabschnitte im Bereich der Parzellengrenzen im Höhenmodell gewährleistet. Das Ergebnis sind somit dreidimensionale Geländemodelle, die jeweils der Planquadratorordnung Q500 der dSGK entsprechen.

Je nach Bedarf und Anforderung sind topologische Besonderheiten in die jeweiligen dreidimensionalen Geländemodelle manuell im Detail einzuarbeiten, beispielsweise Bereiche wie Treppenanlagen, Kaianlagen, Stadtmauern, etc. (siehe Abschnitt 5.1).

Letztendlich werden die aus dem DGM gewonnenen Geländemodelle mit ihren entsprechenden Luftbildern belegt, deren maximale Auflösung 2500 x 2500 Pixel beträgt. Bei einer Parzellenseitenlänge von 500 Metern entspricht das einem Auflösungswert von fünf Pixel pro Meter (entspr. 5PpM). Ein Beispiel ist in Abschnitt 5.1 (siehe Abbildung 60, S. 90) zu finden.

Quelle der Luftbilder sind entzerrte pseudoorthografische Fotos, die den Planquadraten des Q500-Systems der dSGK entsprechen (siehe Abschnitt 4.2.1). Hierbei vorzufindende Qualitätsmängel, speziell aus perspektivischen Abbildungen, insbesondere durch Fassaden von hohen Gebäuden mit einhergehender verfälschter Lage ihrer Dächer, sind kritisch zu betrachten. Exemplarisch zeigt die Abbildung 28 solche Mängel auf. Diese fotografischen Mängel ergeben sich aus einer zu geringen Aufnahmehöhe.



Abbildung 28: Luftbild 7677A (500x500m) mit perspektivischen Verzerrungen der Gebäude (Markierung)

Dem Phänomen der perspektivischen Abbildungen innerhalb der Luftbilder kann einerseits in manueller Kleinarbeit mittels Bildretuschierung begegnet werden. Andererseits ist statt des Einsatzes von Luftaufnahmen aus Flugzeugen, auf Orbitalfotos zurückzugreifen. Letztere stehen dem Zivilbereich bisher in einer maximalen Auflösung von einem Pixel pro Meter (entspr. 1PpM) zur Verfügung. Somit sind die herkömmlichen Flugzeugluftaufnahmen qualitativ durch die höhere Auflösung am besten als Geländetextur geeignet.

Anzumerken ist, dass weit höhere Auflösungen im militärischen Sektor erzielt werden und Verwendung finden. Schätzungsweise liegt hier die Auflösung von Satelliten bei zirka 10-20PpM. Auf Grund von militärischen Restriktionen liegen diese bisher für eine zivile Verwertung bzw. Nutzung nicht vor.

4.2 Bauwerke

Der Charakter einer Stadt wird überwiegend durch ihre Bebauung geprägt. Daher ist es auch zu erklären, dass für die Bebauung sehr viele Daten und Informationen zum Zwecke der Stadtplanung gesammelt werden. Damit diese Daten bei Bedarf zur Verfügung stehen bzw. leicht aufzufinden sind, wurden verschiedene Archiv- / Ordnungssysteme entwickelt. Im nächsten Abschnitt wird das Ordnungssystem der digitalen Stadtgrundkarte (dSGK) beschrieben, diskutiert und dahingehend untersucht, inwieweit es für eine Gebäudemodellierung benutzt werden kann. Zusätzlich werden generell bestehende bautechnische Bestimmungen aufgegriffen und im Rahmen der Optimierung für ein visuelles Echtzeitsystem einbezogen und weiterentwickelt.

4.2.1 Digitale Stadtgrundkarte

Die digitale Stadtgrundkarte (dSGK) der Stadt Magdeburg bildet Flurstücke, Gebäude, Straßen etc. der Gemarkung des Stadtgebietes ab. Der Inhalt der digitalen Stadtgrundkarte ergibt sich aus den städtebaulichen Gegebenheiten. Das heißt, zu den Flurstücken werden die Grenzen, die Flächen und die entsprechende Flurstücksnummer erfasst. Gebäude werden durch ihren Umfang, ihre Fläche, spezifische Bauwerkdetails, die Anzahl ihrer Geschosse und ihre Hausnummer beschrieben. Straßen sind entsprechend durch ihre Namen und die Topographie ihrer selbst und der umliegenden Freiraumflächen abgebildet. Zudem ergänzen alphanumerische Sachdaten die graphische Information der digitalen Stadtgrundkarte.

Die Erstellung und die Fortführung einer topografischen dSGK sind mit erheblichem manuellen und semiautomatischen Arbeitsaufwand verbunden. Die Maßstabsdarstellung der Magdeburger dSGK nach DIN ISO 5455 entspricht 1:500 (vgl. Wendehorst, 1994), die Unterteilung ist auf 500x500m festgelegt und eine Genauigkeit von 30cm bestimmt (siehe Abbildung 29).

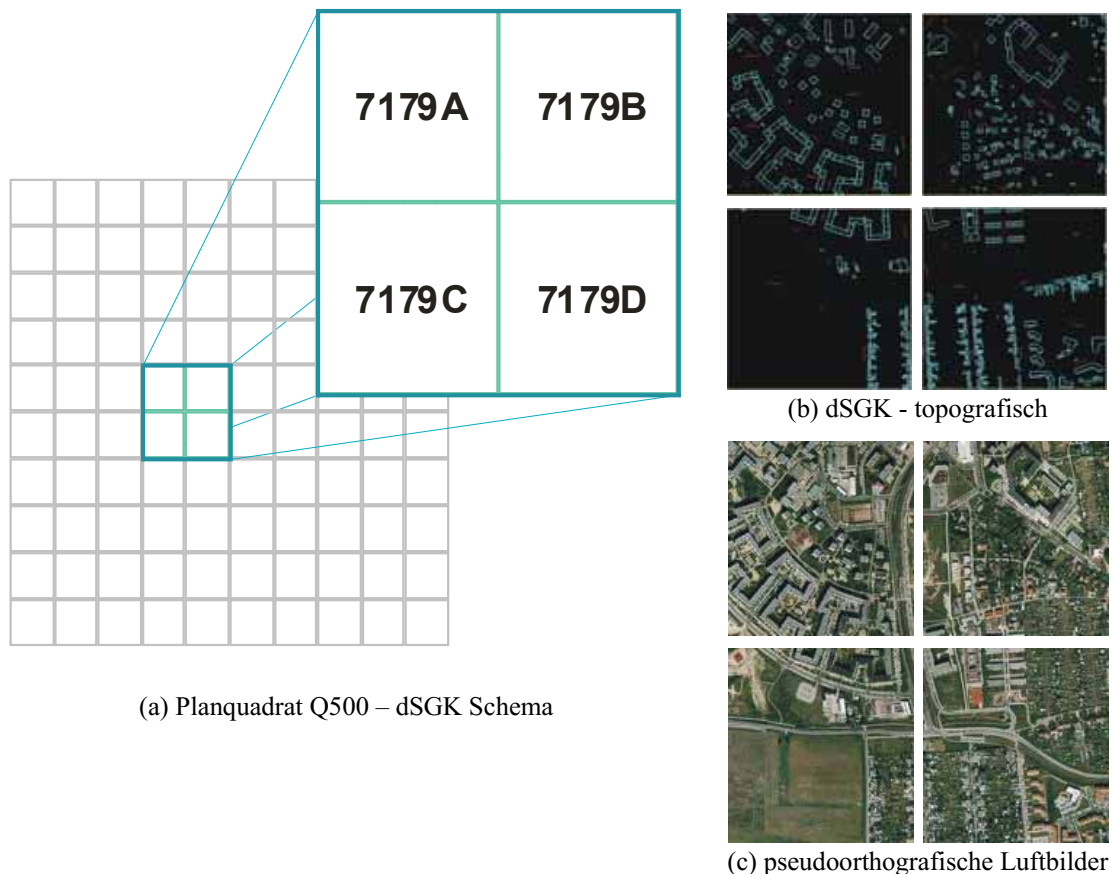


Abbildung 29: 500m System der digitalen Stadtgrundkarte

Die raumbezogenen Daten (Geodaten) sind in jeder dieser Unterteilungen direkt oder indirekt referenziert. Der Raum ist dabei definiert durch ein Koordinatensystem, welches den Bezug und die Orientierung zur Erdoberfläche herstellt. Die Orientierung des Koordinatensystems erfolgt im Krasowski - Längen-/Breitengradsystem (vgl. Schmidt & Irrgang, 2001). Dem hingegen liegt das digitale Geländemodell in einem anderen System, d.h. in Bessel-Koordinaten vor (siehe Abschnitt 4.1.1).

Der Erstellungsaufwand der dSGK wird durch eng gesetzte Grenzen in Gestaltung und Umfang so gering wie möglich gehalten. Viele Einzelheiten, die im besagten Maßstab noch darstellbar wären, entfallen. Dementsprechend leiden die Aussagekraft und der Informationsgehalt der dSGK im Detail.

Eine Besonderheit der dSGK in Magdeburg besteht in ihrer Darstellungsform. Gegenwärtig werden in Magdeburg zwei grundlegend verschiedene Kartensysteme, begründet im Zusammenschluss der DDR und der BRD, verwendet. Bis zur vollständigen Vektorisierung des Stadtkartenwerkes von Magdeburg werden beide Darstellungsformen:

1. die TGL 26711 Zeichenvorschrift mit lokalen Bezugssystem Dom zu Magdeburg (siehe Abbildung 30) respektive die
2. Zeichenvorschrift für die Stadtgrundkarte der Landeshauptstadt Magdeburg mit amtlichem Bezugssystem „Lagestatus 150“ nach DIN-Darstellung [5], (siehe Abbildung 29)

geführt (bzgl. [...] siehe Abschnitt 2.3).

Die komplette Umstellung auf letztgenanntes System mit Nullmeridian Greenwich⁴² erfolgt ausschließlich mit der Neuaufnahme von Stadtkartenblättern bzw. deren Inhalt. Hingegen hat das veraltete Bezugssystem die nördliche der beiden Domspitzen, erkennbar durch ein auf ihr befindliches Kreuz, als Koordinatenursprung.



Abbildung 30: Dom zu Magdeburg - Kreuz auf nördlicher Domspitze symbolisiert den Ursprung des lokalen Bezugssystems nach TGL (Screenshot)

Gleichzeitig bildet die vektorisierte topografische dSGK die Grundlage für das „Raumbezogene Informationssystem“ der Stadt Magdeburg. Die Inhalte der dSGK werden ausschließlich durch öffentliche Stellen eingestellt, fortgeführt und gepflegt.

TGL ↔ DIN

Durch die Umstellung von TGL- auf DIN-Darstellung gehen wesentliche Daten und Informationen verloren, die für die Erstellung eines 3D-Stadtmodells notwendig sind. Hier zeigt sich ein Widerspruch. Einerseits regelt die DIN die notwendigen Inhalte und die Darstellungsform der dSGK. Andererseits beschreibt das Stadtplanungsamt Magdeburg in seiner Anforderung an ein 3D-Stadtmodell (siehe Abschnitt 2.3.2) einen Mehrbedarf an Informationen und Darstellungen. Durch Anwendung der veralteten TGL-Darstellungsvorschrift könnte dieses Bedürfnis zum großen Teil abgedeckt werden. Benannter Informationsverlust ist an folgenden Punkten zu konkretisieren:

⁴² Nullmeridian Greenwich - Längengrad gilt seit 1884 allgemein und seit 1911 international als Nullmeridian

- Verlust wesentlicher Details in der Darstellung von Bauwerken (z.B.: Gebäudeform, siehe Abbildung 31)
- Keine generelle Unterscheidung der Mastformen (d.h.: in Mastdarstellung keine Unterscheidung zwischen Fuß-, Stütze- und Ankerform, siehe Abbildung 31)
- Keine Unterscheidung zwischen Hoch- und Tiefborden
- Verlust der Darstellungsvorschrift von Zapfstellen für Kraftstoff (Tankstellen)
- Wegfall von Seezeichen (z.B.: Elbeverkehrszeichen)
- Wegfall von Signalen für Eisenbahnen (z.B.: Straßenbahn)
- Holmengeländer, Pergolen etc. werden nicht abgebildet
- Windkraftanlagen werden nicht dargestellt
- etc.

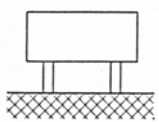
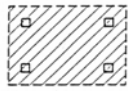
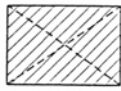



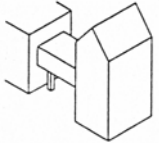
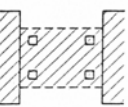
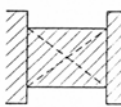



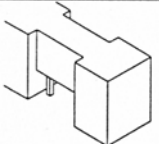
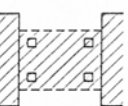




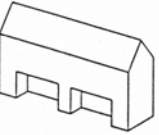
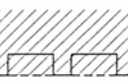
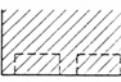
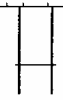


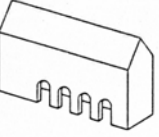
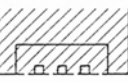
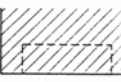



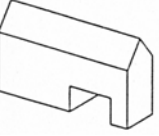
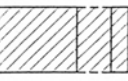
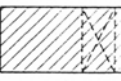



Gebäudetyp:			Masttyp:		
Ansicht	TGL	DIN	Ansicht	TGL	DIN
					
					
					
					
					
					

Abbildung 31: TGL ↔ DIN Darstellungsform (vgl. ZfSGK, 1993)

Bei einigen Objekten lässt sich lediglich ein geometrischer Verlust durch die Umstellung feststellen, d.h. von Geometriedarstellung auf Schriftzug:

- Sport und Erholungsflächen
- Baumreihen
- Kahlschlag
- etc.

Die Aufzählung stellt nur einen kleinen, aber den für diese Arbeit wesentlichen Teil dar (vgl. ZfSGK, 1993).

Zudem erfolgt durch die Empfehlung des Strebens nach „*Einmaligkeit in der Darstellung*“ (Zitat der aktuellen DIN-Zeichenvorschrift) ein weiterer Informationsverlust, z.B.: „*Gebäudegleich-Wegbegrenzung*“. Gleichzeitig wird der Bearbeiter „*Dateneinsteller*“ ermächtigt, eigenverantwortlich zu handeln (ZfSGK, 1993). Daraus resultierend kommt es zu unterschiedlichen Darstellungen innerhalb der dSGK, die eine automatisierte Erstellung eines 3D-Stadtmodells aus diesen Daten erschwert. Diese Problematik ist bekannt und wurde bereits dahingehend in einer weiterführenden Arbeit über komplexere und automatisierte dSGK untersucht (vgl. Marschke, 1998).

Gegenwärtig werden die Daten der digitalen Stadtgrundkarte in einer Datenbank verwaltet, um den Anforderungen nach schnellem und eindeutigem Zugriff zu entsprechen. Bei den digitalen Stadtgrundkarten handelt es sich um Vektordaten (siehe Abbildung 32).

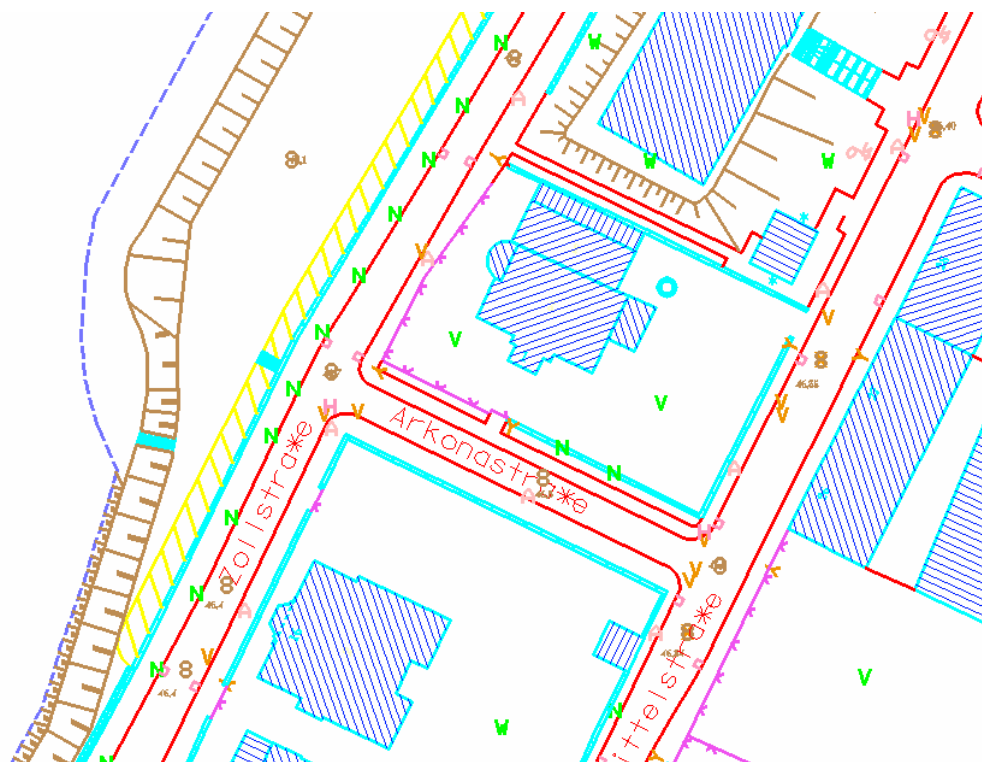


Abbildung 32: Auszug aus der digitalen Stadtgrundkarte von Magdeburg (dSGK)

Thematisierte Ebenen (Layer) beinhalten zweidimensionale geometrische Grundprimitive. Im Wesentlichen enthalten sind:

- 2D Vermessungsdaten,
- digitalisierte Karten aller Art,
- konstruierte Punkte und Objekte (Ellipse und Spline),
- Höhenangaben (lediglich als relativer Text mit Ortsbezug, z.B.: Stockwerksanzahl),
- zusätzliche sachbezogene Informationen (Nutzungsart, Namen etc.).

Als Datenformat liegt *Intergraph Standard File Format* (ISFF) zu Grunde. Das ISFF besitzt nachstehende Geometrieelemente (siehe Tabelle 2):

<i>Element</i>	<i>Beschreibung</i>
Text	Textfeld mit Koordinatenbezug
Shape	Flächenelement (Multilinie, P1 ist mit Pn identisch)
Line	Linie zwischen mindestens 2 Punkten
Arc	Bogenstück oder Klotoide
Ellipse	Ellipse
Spline	Kurve, die mehrere Punkte möglichst glatt verbindet

Tabelle 2: ISFF Geometrieelemente

Derzeit listet die dSGK 63 verschiedene Ebenen (Layer) auf. Hiervon sind viele für die automatische bzw. semiautomatische Erstellung eines 3D-Stadtmodells nutzbar. Allerdings ist die vorliegende dSGK nur durch einen menschlichen Benutzer, auf Grund seiner gesammelten Kenntnisse und erlernten Fähigkeiten, in einen inhaltlichen Zusammenhang zu bringen, da keine Verknüpfungen der Elemente untereinander bestehen. Eine Übersicht der Layerstruktur befindet sich im Anhang D.

Wie bereits erwähnt, bestehen keine logischen Verknüpfungen der Elemente und der Ebenen untereinander. Alle Elemente müssen manuell bzw. kognitiv zugeordnet werden, um eine eindeutige Identifikation sicherzustellen. Dies stellt einen erheblichen Arbeitsaufwand für die Nutzung und Verwendung als Grundlage in der Realisierung eines 3D-Stadtmodells dar.

Vorschlag zu einer erweiterten digitalen Stadtgrundkarte

Eine zukunftsorientierte dSGK, gerade mit Blick auf ein virtuelles Stadtmodell, dürfte nicht topografisch sondern müsste topologisch angelegt sein. Weiterhin müssten Elemente eine logische Verkettung untereinander aufweisen. Anhand von Gebäuden lässt sich ein Beispiel formulieren: Hauseckpunkte sollten mit den Hausnummern ihres bezogenen Hauses, der Stockwerksanzahl und dem Straßennamen logisch verknüpft werden. Demzufolge wären alle Häuser eindeutig definierbar und für eine automatisierte Weiterverarbeitung bestens vorbereitet. Dementsprechend würde sich eine Vielzahl von Elementen gruppieren bzw. hierarchisieren lassen. Die digitale Stadtgrundkarte ist die wesentliche Grundlage für die automatische Erstellung von 3D-Gebäudemodellen, deshalb sollte sie mindestens um die Erweiterung der Dachformationen, wenn nicht um die dritte Dimension generell, bereichert werden. Dies wäre durch eine räumliche Vermessungsaufnahme des Vermessungs- bzw. Katasteramtes von Gebäuden realisierbar [5], (bzgl. [...] siehe Abschnitt 2.3).

Schlussfolgerung und Festlegung

Für die Erstellung des 3D-Stadtmodells bildet das System der dSGK eine geeignete Grundlage. Das Bezugssystem ist das Krasowski - Koordinatensystem. Abweichende Grundlagen, beispielsweise das Geländemodell welches in Bessel - Koordinaten vorliegt, müssen transformiert werden (vgl. Schmidt & Irrgang, 2001). Alle zu generierenden Elemente übernehmen ihre realen Bezugskoordinaten für die Positionierung im Szenario. So ist eine eindeutige Identifizierung zwischen dSGK und 3D-Stadtmodell leicht nachvollziehbar.

4.2.2 Level of Detail - bautechnisch

Als weitere Grundvoraussetzung für die Erstellung von 3D-Gebäudemodellen, die später Bestandteil einer Echtzeitvisualisierung sein sollen, sind geeignete Darstellungsoptimierungen und -möglichkeiten anzuwenden. Hierzu bieten sich verschiedene Techniken der Computergrafik an, die im weiteren Verlauf der Arbeit als Level of Detail-Technik (LoD-Technik) benannt sind. LoD-Techniken zum Thema Texturoptimierung und Entfernungsintervalle sind im Abschnitt 4.5.3 aufgeführt.

Um an Grafik- / Systemspeicher zu sparen und den Grafik- / Systemprozessor zu entlasten, wird in diesem Abschnitt eine LoD-Technik, in Anlehnung an Maßstabsdefinitionen des Bauwesens in Beziehung zur Darstellungsanforderung der Stadtplanung an ein Gebäude, definiert. Zudem werden Spezifikationen der digitalen Stadtgrundkarte aufgegriffen und weitergeführt.

In den zeichentechnischen Baubestimmungen sind für die unterschiedlichen Maßstabsebenen, Zeichengrößen und Darstellungsgrade (nach DIN ISO 5455) vordefiniert. Diese Maßstabsebenen orientieren sich auch an den unterschiedlichen Abstraktionen des Planers, der Aufgabenstellung bzw. der Entwurfsphase (vgl. Wendehorst, 1994).

Diese Detaillierungsgrade können für ein LoD im 3D-Stadtmodell genutzt werden. Die Generierung von Modellen ist im Allgemeinen eine Vorstufe zur Visualisierung, die nicht täglich sondern regelmäßig in Aktualisierungszyklen erfolgt. Die Aktualisierungszyklen richten sich im vorliegenden Fall nach ihrer stadtplanerischen Notwendigkeit. Ergebnis der Generierung ist ein Modell, welches dem Renderingprozess zugeführt wird. Dieses Modell kann zu einem Szenario weiterentwickelt werden bzw. Grundlage einer Datenbank sein, die auf mehrere Einzelmodelle (im Sinne einer texturierten Geometrie) referenziert und Eigenschaften beschreibt. Die Renderpipeline (Rendering - Prozess) greift das Ergebnis der Generierung auf und erzeugt ein Bild, das einem Ausgabemedium bereitgestellt wird (vgl. Angel, 1990).

Somit hat ein LoD wesentliche Auswirkungen auf die Projektrealisierung. Es muss aus diesem Grund von Anfang (Datenerfassung) bis Ende (Visualisierung) in der strategischen Herangehensweise berücksichtigt und konsequent umgesetzt werden. Aus der Anforderungsanalyse (siehe Abschnitt 2.3.2) in Kombination mit den bautechnischen Zeichnungsrichtlinien und der Computergrafik lassen sich drei wesentliche LoDs ableiten (vgl. Wendehorst, 1994), (vgl. Schilcher et al., 1998):

LoD1

Die Generierung der Gebäude erfolgt aus den Grundrissen mit jeweiligen Höhenangaben und ohne Dachspezifikationen. Das Ergebnis entspricht den üblichen Arbeitsmaßstäben der Stadtplanung, die sich zwischen 1:250.000 und 1:10.000 bewegen.

LoD2

Additiv zum LoD1 kommen Informationen über die Dachform, die Fassadentexturen, Freiraum- und Vegetationsflächen hinzu, letztere in niedrigerer Qualitätsstufe. Das Ergebnis entspricht dem Arbeitsmaßstab des Städtebaus (auch Realisierungsnachweis), der sich zwischen 1:10.000 und 1:50 bewegt.

LoD3

Sämtliche Gebäude, Freiraum- und Vegetationsflächen werden wirklichkeitsgetreu und realitätsnah generiert. Hierbei sind Fototexturen in höherer Auflösung optimal. Das Ergebnis entspricht dem Maßstab der Architektur und des Ingenieurhochbaues, der sich zwischen 1:1.000 und 1:5 bewegt.

Um einen höheren Detailgrad als LoD3 zu erreichen, ist auf eine komplette fotogrammetrische Erfassung und Auswertung zurückzugreifen (siehe Abschnitt 3.4).

In Abhängigkeit von den Anforderungen können und sollten Mischformen der oben genannten LoDs zum Einsatz kommen. Somit ist generell die Möglichkeit gegeben, eine flexible Ausgestaltung des jeweiligen Detaillierungsgrades umzusetzen. Das heißt, dass die definierten LoDs in ihren Anwendung variabel auszulegen sind.

Auf Basis der LoD - Betrachtung werden für die Realisierung des 3D-Stadtmodells folgende Detaillierungsgrade festgelegt (siehe Abbildung 33):



Abbildung 33: Detaillierungsgrad: *Blockmodell*, *Erweitertes Blockmodell* und *Detailmodell* (Schilcher et al., 1998)

Blockmodell

- Gebäude als Quader ohne Dachform, mit simpler Texturierung von Freiraumflächen

Erweitertes Blockmodell

- Gebäude als Quader mit Dachform und differenzierter Texturierung von Freiraumflächen und Vegetation

Detailmodell

- Gebäude als vollständig texturierte Geometrie und differenzierter Texturierung von Freiraumflächen, Vegetation und weiteren Objekten

Optional kann jedes Gebäudemodell mit einem topologischen Untergrundrelief⁴³ versehen werden.

⁴³ dreidimensionales Geländemodell

4.2.3 Generierungsmethodik Bauwerke

Generell wird bei jeder Erstellung von Modellen innerhalb dieser Arbeit auf das Teilungssystem in Planquadrate Q500 der Stadtgrundkarte zurückgegriffen (siehe Abschnitt 4.2.1). Die darauf aufbauende definierte Hierarchie (siehe Abbildung 24, S.42) ist Grundlage für ein im Ergebnis ressourcensparendes und übersichtliches 3D-Stadtmodell mit einhergehendem Performancegewinn für die Echtzeitvisualisierung. Die Performancerate der Bildfrequenz einer VR-Anwendung bestimmt außerdem unmittelbar den Grad der Nutzerfreundlichkeit. Ein weiterer Vorteil ist die Fortführbarkeit (Weiterentwicklung) des Modells.

Im Vergleich zur fotogrammetrischen Auswertung (siehe Abschnitt 3.4), die bekanntermaßen einen hohen manuellen Arbeitsaufwand erfordert, wird hier die Methodik einer weitgehend automatisierten Generierung von Gebäuden beschrieben.

Positionierung (X,Y)

Grundlage für die Gebäudegenerierung ist die dSGK. Angesichts beschriebener Problematiken bei der Erstellung sowie der Fortführung der dSGK (siehe Abschnitt 4.2.1) ist, nicht zuletzt auch wegen wirklichkeitsgetreuer Aspekte, eine manuelle Überarbeitung notwendig und sinnvoll. Die topografischen Grundrisskoordinaten der Gebäude werden aus der dSGK übernommen. Die entsprechenden HFP zur Bestimmung der Höhenlage über NN des Gebäudes können sich, wie beschrieben, in Gänze nur aus dem Gelände-Polygonnetz (siehe Abschnitt 4.1.2) ergeben, da die dSGK nur teilweise gebäudespezifische Höhenlagewerte führt. Diese Zuweisung wird erst nach Komplettierung und Integration aller erzeugten Modellbestandteile in ein städtisches 3D-Gesamtmodell vorgenommen. Einzelheiten zur *Z-Positionierung* sind im Abschnitt 4.5.1 zu finden.

Geometriedefinition

Die Daten der dSGK werden gemäß den folgenden aufgestellten Kriterien (siehe Abbildung 34) ausgelesen und aufbereitet. Das PBG-Format wurde vom Fraunhofer IFF Abteilung VS entwickelt.

```

$$PB Objektname Straßennummer (von bis)
  n          # Anzahl der Koordinaten
  X1 Y1      # Koordinaten n. Krasowski (Rechts-,
              # Hochwert)

  X2 Y2
  ...
  X(n) Y(n)

  GA         # Geschossanzahl in Einheiten
  GH         # Geschosshöhe in Metern
  SH         # Sockelhöhe in Metern
  GH         # Gesimshöhe in Metern

  $$_MAT     # Fassadenzuordnung (optional)
  F1.rgb     # Dateiname der entspr. Textur
  F2.rgb
  ...
  F(n).rgb

  $$_TBH x   # Texturbasishöhe in Metern

```

Abbildung 34: Formatvorlage zur manuellen Gebäudeseparierung / *.pbg-Datei

Im ersten Teil (\$\$PB) der Prismatic Building - Formatvorlage (PBg) werden die Punkte der Grundrissgeometrie bzw. die Texturkoordinaten definiert. Dazugehörige Texturen sind in der Material- und Texturzuweisung (\$\$_MAT) aufgeführt. Die Koordinatenabfolge ist spezifisch der Orientierung der späteren Extrusion festzulegen.

Aus den zusammengestellten Daten werden die Kubaturen der Gebäude extrudiert. Die Gesamthöhe der Gebäude ist die Summe der Höhen von Gesims, Geschossanzahl multipliziert mit der Geschosshöhe und Sockelbereich. Die Angabe einer Sockelhöhe von mindestens einem Meter gewährleistet, dass beim späteren Zusammenführen mit dem Geländemodell kein Gebäude schwebt bzw. sonstige Fassaden im Geländemodell liegen. Das heißt, die extrudierte Modellhöhe entspricht der Summe aller einzelnen Höhenangaben.

Für den Fall, dass das DGM bzw. das Geländemodell nicht mit dem realen Gelände übereinstimmt, d.h. darausfolgend die Sockeltextur zu groß oder zu klein ist, ist über die Sektion der Texturbasishöhe (\$\$_TBH) ein entsprechender Eintrag für die Anpassung der Textur vorzunehmen. Angesichts der konsequenten Flachdachbauweise im zu modellierenden Bereich werden keine spezifischen Dachinformationen außer der Dachfassadensockelhöhe benötigt.

Einige Schwierigkeiten, die einem vollautomatischen Auslesen der dSGK entgegenstanden und folglich durch die oben aufgezeigte manuelle Auswertung behoben werden, sind festzuhalten:

- fehlerhafte Elementzuordnung in der Stadtkarte
 - statt einem Flächenelement sind Linienstücke als Hausumriss enthalten
 - Linienstücke, die einen gleichen Start- und Endpunkt besitzen (Längenbetrag = Null)
 - häufig doppelt eingetragene Elemente
- eindeutige Abhängigkeiten der Elemente sind zuzuordnen - geometrische Einträge sinngerecht umsetzen
 - Straßennamen haben für jeden Buchstaben einen Texteintrag
 - Gebäude in die richtige Straße einordnen, fehlende Verknüpfung
 - nicht erdverbundene Bauwerke (Durchfahrten, Überdachungen, usw.) haben gekreuzte Linien (Stadtgrundkarten-Darstellungsvorschrift)
 - zu den Gebäuden gehörende Anbauten sind nicht zuzuordnen

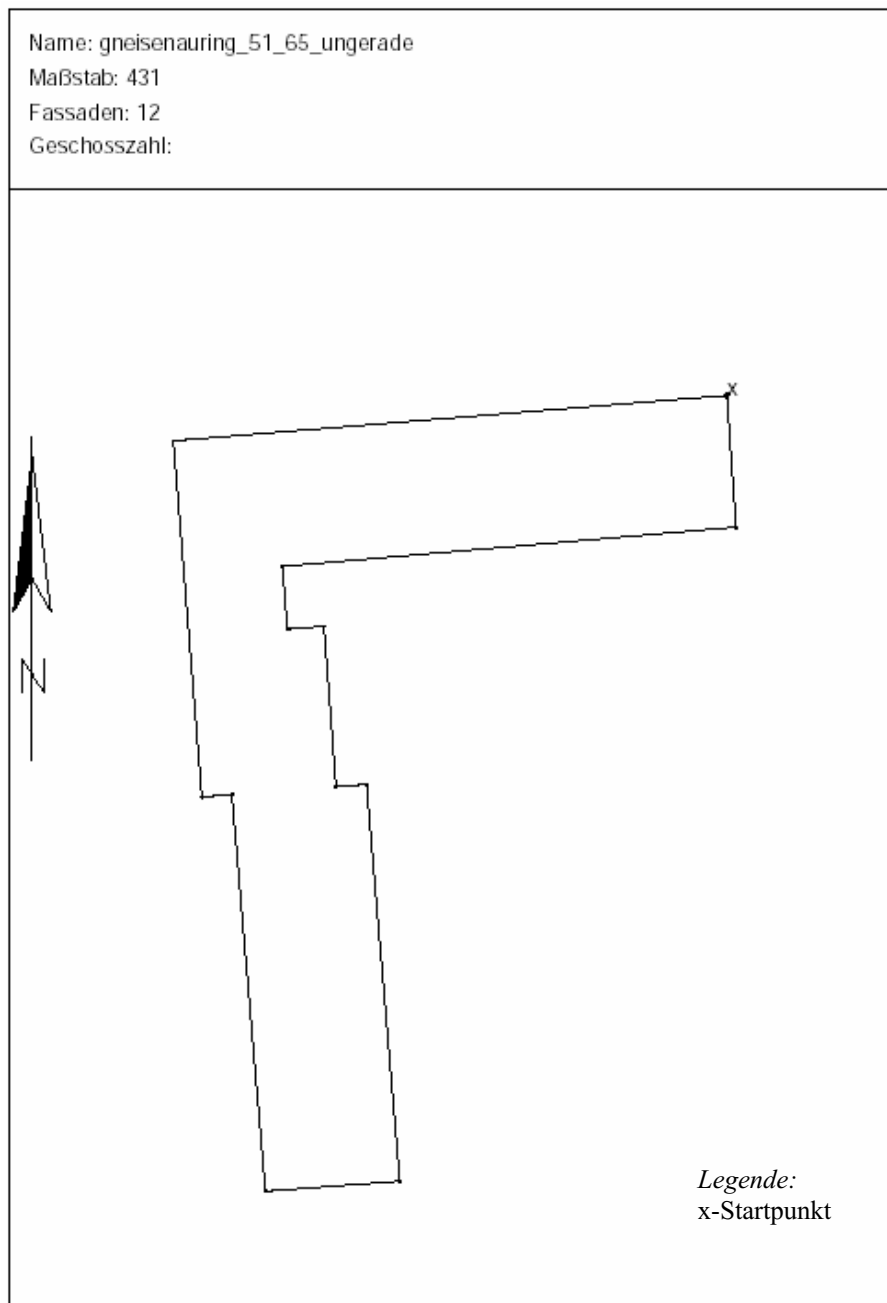


Abbildung 35: Feldbuch (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)

Abbildung 35 zeigt eine skizzenhafte Darstellung eines beispielhaften Gebäudegrundrisses. Das dargestellte Feldbuch, welches für jedes Gebäude aus der PBg-Datei erstellt wird, dient innerhalb der Projektrealisierung der Koordinierung. Koordiniert wird mit diesem Hilfsmittel zum einen die Zuordnung von Texturelementen zu den jeweiligen Fassaden der Gebäude. Weiterhin wird der beschriebenen Aktualitäts-Problematik der dSGK (siehe Abschnitt 4.2.1) begegnet. Somit kann die dSGK nochmals in ihrer Gültigkeit der Gebäudegrundrisse / -geometrie und Straßennamenzuordnung während der noch zu beschreibenden Texturreferenzierung überprüft werden.

```

$$PB gneisenauring_51_65_ungerade
12
72059.7649 80292.0696
72008.9304 80287.8928
72011.5489 80255.1650
72014.3075 80255.3743
72017.3940 80218.9113
72029.7322 80219.8346
72026.6702 80256.3122
72023.8743 80256.1001
72022.7560 80270.8405
72019.4030 80270.5861
72018.9541 80276.3473
72060.6073 80279.9650
5
2.80
1.20
1.75

```

Abbildung 36: Gebäudegeometrie (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)

In Abbildung 36 sind die Koordinaten entsprechend der in Abbildung 35, S.59 gezeigten Skizze zu sehen.

Textur- / Materialdefinition

Die \$\$_MAT-Sektion gewährleistet die eindeutige Zuweisung von Materialien bzw. Texturen und ist in ihrer Anwendung als optional anzusehen.

Erfolgt kein Eintrag, handelt es sich um ein Gebäude des Typs *Blockmodell* (LoD1). Somit wird lediglich ein Materialverweis erzeugt. Ein Eintrag hingegen beschreibt Texturzuordnungen. Insofern wird entweder ein *Erweitertes Blockmodell* (LoD2) oder ein *Detailmodell* (LoD3) erzeugt. Die nach String \$\$_MAT angegebenen Zeilen (Anzahl entspricht der Anzahl von Grundrisspunkten [n]) enthalten entweder einen Bildnamen (GRUNDNAME.SUFFIX) oder ein Wort ohne '. '. Letzteres wird als Materialname (LoD1 oder innenliegende Haus-an-Haus-Fassade) ansonsten als Texturname interpretiert (LoD2 bzw. LoD3).

Das Bild, welches die Textur beinhaltet, enthält die Fassade inklusive Sockel. Es wird festgelegt, dass die in der Textur enthaltene Sockelhöhe (SH) der angegebenen Höhe entspricht (siehe Abbildung 34, S.57). Für den Fall abweichender Sockelanteile, insbesondere tiefer ins DGM reichende Sockel, wie bereits bei der Definition der Gebäudegeometrie erwähnt, kann die fotografierte Sockelhöhe mit \$\$_TBH (Texturbasishöhe) angegeben und gesondert berücksichtigt werden.

Die Dachtexturen werden den entsprechenden Luftbildern entnommen. Da die Luftbilder jeweils mit Planquadraten Q500 der dSGK übereinstimmen, ist eine eindeutige Zuordnung der Dachtexturen zu den Gebäuden unter Berücksichtigung der perspektivischen Verzerrung (Abschnitt 4.1.2) möglich.

Aus den zusammengestellten Daten kann nun eine Gebäudegeometrie generiert werden. Anschließend werden die Facetten (Fassaden und Dächer) mit Texturen versehen. In Abbildung 37 sind die Textureinträge entsprechend der Koordinierung mittels Feldbuch dargestellt.

```

$$_MAT
gneisenauring_51_65_ungerade-1.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-2.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-7.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-4.rgb
NULL
gneisenauring_51_65_ungerade-6.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-7.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-8.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-9.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-10.rgb
gneisenauring_51_65_ungerade-11.rgb
NULL

```

Abbildung 37: Gebäudetexturzuordnung (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)

Um eine effiziente und schnelle Realisierung der Texturierung zu ermöglichen, ist es von Vorteil einen *Texturkatalog* zu erstellen, dessen Inhalt bei Texturwiederholungen beliebig oft verwendet werden kann und aus dem beliebige Fassadentexturen erstellt werden können.

Texturkatalog

Je homogener und uniformer die Stadtypologie, desto effizienter ist der Einsatz eines Bausteinkataloges zur Erstellung von Fassaden, da einmal bearbeitete Texturen öfter Verwendung finden können.

Grundvoraussetzung für den effizienten Einsatz eines *Texturkataloges* ist dessen inhaltliche Vollständigkeit. Alle Texturen bestehen aus perspektivisch entzerrten Bildern. Es bestehen u. a. die folgenden Möglichkeiten der Entzerrung von Bildern (vgl. Foley et al., 1990), (vgl. Klette & Koschan, 1996):

1. DLT bedeutet in diesem Zusammenhang Direkte Lineare Transformation. Es kommt ohne Näherungswerte aus und benötigt sechs Passpunkte. In der Praxis ist dieses Verfahren zu aufwendig.
2. Eine weitere Variante wäre die Verwendung der räumlichen Rückwärtsprojektion bei bekannter Orientierung. Hierzu werden lediglich drei Passpunkte benötigt, wobei hier verschiedene Näherungswerte bestimmt werden müssen. In der Anwendung ist die Feststellung der Orientierung zu anspruchsvoll.
3. Als einfachste Lösung bietet sich die einfache perspektivische Entzerrung an (einfache perspektivische Bildtransformation). Hierbei handelt es sich um ein 2D-Verfahren unter zu Hilfenahme von vier Passpunkten (siehe Abbildung 38).



(a) original Foto



(b) Ergebnis der perspektivischen Transformation



(c) Freistellen der Fassade



(d) nach Retusche

Abbildung 38: einfache perspektivische Bildtransformation

Nach der perspektivischen Transformation der Bilder, die in diesem Fall das Freistellen (Schneiden) der Bilder beinhaltet, und einer qualitativen Bildbearbeitung, d.h.:

- Angleichung der Auflösungstiefen der Bilder untereinander,
- Filterung und
- Retuschierung sonstiger störender Bestandteile,

werden die gewonnenen Fassadenelemente dem *Texturkatalog* zugeführt. Zuvor müssen die betreffenden Fassadenbausteine in Sorte und Typ definiert und katalogisiert werden. Im Anschluss steht der *Texturkatalog* für beliebig viele Fassadenberechnungen zur Verfügung.

Der zur EtF-Formatvorlage zugehörige textuelle Elementkatalog ist in Abbildung 41 zu sehen.



Abbildung 41: Fassadenelemente - Katalog (Auszug)

Eine Ergebnisabfolge ist am Beispiel in Abbildung 63, S.92 aufgezeigt. Die Ergebnisse liegen als Daten jeweils im OBJ / MTL / RGB(A) -Format vor (siehe Anhang D, E).

Zusammenfassung und Fazit

Dargestellt ist die Methodik der Erzeugung von Gebäuden aus der dSGK, einem Fassadenelemente - Katalog und einer Element-zu-Fassade - Zuordnung. Grundsätzlich lassen sich auf diese Art und Weise sehr einfach Gebäude in sehr großer Anzahl erzeugen. Mit Blick auf den zunehmenden Visualisierungsbedarf von 3D-Stadtmodellen und der industrialisierten vorgefertigten Bauweise ist hier eine geeignete Methodik beschrieben. Selbst Gebäude aus gründerzeitlicher und jugendstilistischer Bauweise lassen sich, unter Beachtung von Dachformationen, mit einem dementsprechenden *Texturkatalog* auf einfache Weise erstellen.

Hierbei erweist sich wiederum die Problematik der Unvollständigkeit der dSGK als Hindernis. Weiterhin kann eine logische Verknüpfung von DGM und dSGK wesentlich zur Effizienzsteigerung bei der Erstellung von Gebäudemodellen für ein 3D-Stadtmodell beitragen.

Eindeutige Vorteile der automatisierten Erstellungen von Gebäuden sind die Geschwindigkeit der Erzeugung und die Reinheit der Fassadentexturen. Eventuell störende Einflüsse auf Grund einer dichten Bebauung, wie parkende Autos, Passanten, Bäume und perspektivische

Verzerrungen, sind leicht auszuräumen. Zusätzlich wird durch die Mehrfachverwendung der Texturbausteine an manuellem Aufwand gespart.

Weiterhin kann durch den Austausch des *Texturkataloges* mit neuen Fassadenelementen sehr leicht eine Sanierungsmaßnahme der Fassaden visualisiert werden, beispielsweise das Anbringen eines Wärmedämmverbundsystems.

4.3 Vegetation

Vegetation oder auch Flora ist die Pflanzenwelt bzw. der Pflanzenbestand eines Biotops in seiner Gesamtheit. Die Flora lässt sich in diesem Zusammenhang in zwei Kategorien unterteilen: Gehölze und Nichtgehölze. Die Darstellung der Nichtgehölze - Gräser, Stauden, etc. - im 3D-Stadtmodell wird über die Textur des Geländemodells und der Gebäudefassaden abgedeckt. Die der Gehölze - Bäume, Sträucher, etc. - sind als Modell zu erzeugen, da sie zu den großraumbildenden Objekten gehören und somit das Stadtbild prägen (siehe Abbildung 42).

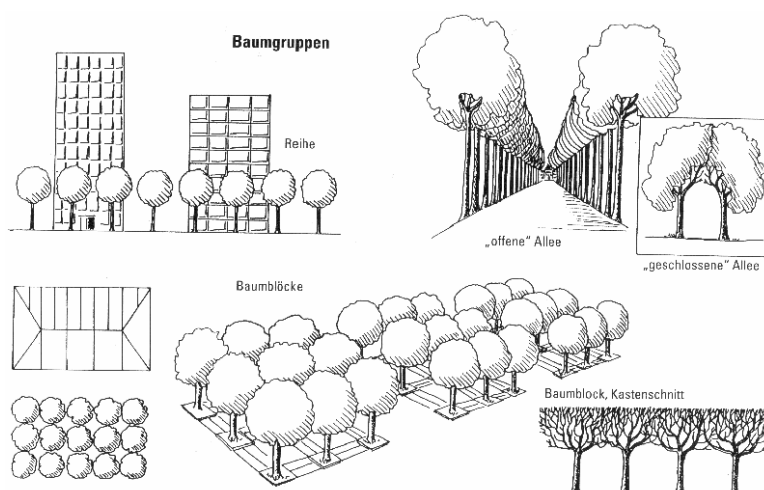


Abbildung 42: Bäume als städtische großraumbildende Lebewesen (Borchardt, 1996)

Die Erzeugung von Freiraum- bzw. Vegetationsmodellen entspricht in ähnlicher Art und Weise der Methodik zur Erstellung von Gebäudemodellen. Für eine leichtere Gegenüberstellung beider Vorgehensweisen ist die Gliederung der jeweiligen Abschnitte analog angelegt. Die aufgezeigte Methodik zur Erstellung von Gebäudemodellen bildet die Grundlage einer Weiterentwicklung, aus der die Freiraum- und Vegetationsmodellierung hervorgeht. Exemplarisch wird im Weiteren der Modellierung des Baumbestandes nachgegangen.

4.3.1 Digitales Baumkataster

Gegenüber der Gebäudemodellierung bedarf es bei der Erzeugung eines Freiraum- bzw. Vegetationsmodells für ein VR-3D-Stadtmodell anderer Wege und Konzepte. Auf Grund der hohen Anzahl und natürlichen Artenvielfalt von vegetativen Objekten müssen andere

Techniken und Strategien aufgestellt werden. Insbesondere mit Blick auf das Ziel der Arbeit, ein Modell für die Echtzeitvisualisierung bereitzustellen, sind sich aus der Masse an Objekten ergebene Potenziale aufzuspüren und auszunutzen.

Eine der Grundlagen für die automatisierte Erstellung von Vegetationsmodellen sind die diesbezüglichen Ausgangsdaten. Die Vorgehensweise wird im Weiteren am Beispiel des Baumkatasters aufgezeigt. Andere vegetative Katasterbestände können in ähnlicher Weise in ein 3D-Stadtmodell eingebunden werden.

Ein Baumkataster beinhaltet die katasterspezifischen Daten des Baumbewuchses einer bestimmten Region. Die topografischen Lagekoordinaten der Bäume liegen im Magdeburger Baumkataster generell im Krasowski-Koordinatensystem vor. Lediglich durch geschichtlich begründete unterschiedliche Baumkatastervorschriften kommt es zu Differenzen in der Zuordnung der Bäume zu den Stadtgrundkarten. Alle Bäume, die vor dem Jahr 1990 klassifiziert und eingemessen wurden, unterliegen der Baumkatastervorschrift nach TGL. Seit dem Anschluss der neuen Bundesländer an die BRD unterliegen baumkatasterliche Einstellungen⁴⁴ der DIN-Einordnungsvorschrift. Diese Differenzen sind auszugleichen, da die dSGK im Rahmen dieser Arbeit die Grundlage der Modellhierarchie bildet (siehe Abschnitt 4).

Im nachfolgenden Baumkatasterauszug liegen die Bäume mit den Nummern 1983, 10315 und 13973 in der obsoleten TGL-Planquadratorordnung vor (siehe Tabelle 3). Diese werden innerhalb des aktuellen Baumkatasters, welches auf DIN-Zuordnung Planquadrat Q500 basiert, weitergeführt. Dadurch befinden sich zwei Hierarchien im aktuellen Baumkataster. Dieser Misstand ist mittels einer einfachen Neuberechnung der Stadtgrundkartenzugehörigkeit aus den Lagekoordinaten der betreffenden Bäume zu beheben.

BAUMNUMMER	X KOORDINATE	Y KOORDINATE	STADTKARTE	BAUMART	BOTANISCH	DEUTSCH	STAMUMFANG	STAMDURCHM	KRONDURCHM	KRONANSATZ	BAUMHOEHE	STÄMMIG
1983	73847,41	78382,2	grf59471		>Fehlstelle<	>Fehlstelle<	0	0	0	0	0	0
7459	72049,26	74031,63	grf7274C	TEU	TILIA EUCHLORA	KRIM-LINDE	1,38	0,44	10	0	12,5	0
10315	74776,08	77319,42	grf57491	APL	ACER PLATANOIDES	SPITZ-AHORN	0,88	0,28	11	0	13	0
13973	72974,25	81072,53	grf65452	PSKA	PRUNUS SERRULATA "KANZAN"	JAPANISCHE NELKENKIRSCH	0,22	0,07	1,5	0	3	0
21855	76905,41	77520,8	grf7677B	PNI	POPULUS NIGRA		0,63	0,2	5	0	7	1

Anzahl			
3887	TCO	TILIA CORDATA	KLEINBLÄTTRIGE LINDE - STEIN-LINDE - W
1213	APL	ACER PLATANOIDES	SPITZ-AHORN
990	RPS	ROBINIA PSEUDOACACIA	SCHEIN-AKAZIE - SILBERREGEN
944	AHI	AESCULUS HIPPOCASTANUM	GEMEINE ROß-KASTANIE
885	TEU	TILIA EUCHLORA	KRIM-LINDE

Tabelle 3: dBK - digitales Baumkataster und Datengehalt entsprechend in ASCII-Format (verbildlichter Auszug, vgl. Datengrundlagen des Magdeburger Stadtgartenbetriebs - MSB)

Um eine einheitliche hierarchische Struktur zu erreichen, werden sämtliche Bäume, die bisher in TGL- Zuordnung vorliegen, in DIN-Zuordnung umgerechnet. Bei der Umrechnung der Hierarchiezugehörigkeit müssen gleichzeitig Nullstellen bzw. Fehlstellen, Doppeleinmessungen und Doppelbelegungen des gesamten Baumkatasters beachtet und im Einzelfall korrigiert werden. Bei Nullstellen handelt es sich um jene Bäume, die in der Realität nicht mehr vorhanden sind, ihre Positionen aber weiterhin im Baumkataster geführt werden. Doppeleinmessungen, die zumeist leicht abweichende Lagekoordinaten aufweisen, können mit Berücksichtigung einer Fehlertoleranz von nicht mehr als 10cm aussortiert werden.

⁴⁴ Einstellungen - Registrierungen von Bäumen in das BK

Einträge von zwei oder mehreren Bäumen unterschiedlichen Alters (eventuell auch Art) mit zuvor genannten Eigenschaften könnten über das Kriterium des Setzjahres / Setzalter abgefasst werden. Da das Setzjahr im vorliegenden Baumkataster nicht eingestellt ist, muss demzufolge die Darstellung im 3D-Stadtmodell durch eine Vorortbesichtigung verifiziert bzw. falsifiziert werden. Bei dem zur Verfügung stehenden dBK von Magdeburg der Bereiche: Altstadt und Neu-Olvenstedt, liegen 19.371 Einträge vor. Hierbei sind zusätzlich zu den real existierenden Bäumen beider Stadtgebiete (siehe Tabelle 4, S.96) auch 3.711 Nullstellen / Fehlstellen und 50 Doppeleinmessungen / Doppelbelegungen verzeichnet.

Das digitale Baumkataster liegt außerdem im DGN-Format vor (siehe Abbildung 43). Allerdings fehlen in diesen Daten die Informationen des alten TGL-Baumkatasters, so dass zur kompletten Erzeugung der 3D-Baumvegetation für das virtuelle Stadtmodell auf die ASCII-Datensätze zurückgegriffen werden muss.

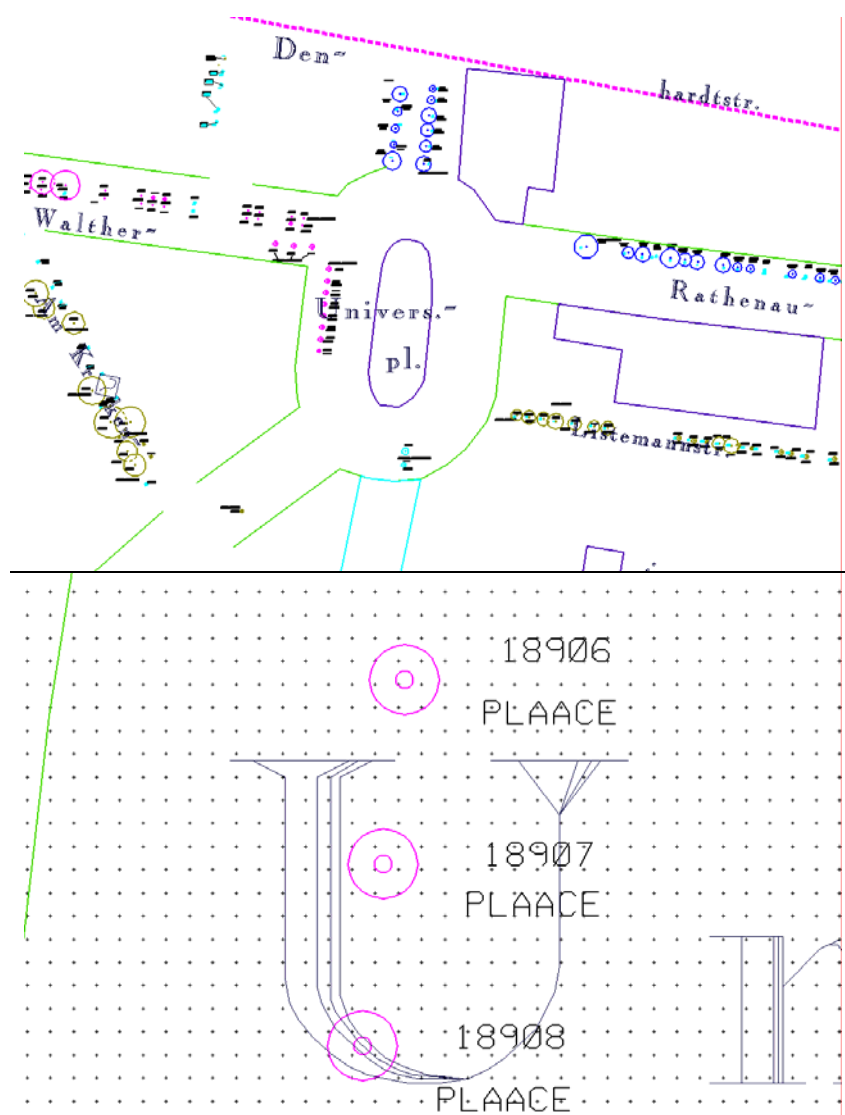


Abbildung 43: Baumkatasterauszug-Universitätsplatz in Magdeburg (DGN)

4.3.2 Generierungsmethodik Vegetation

Positionierung (X,Y)

Beruhend auf das Baumkataster (siehe Tabelle 3, S.66) ergibt sich die Positionierung der Baummodelle aus den topografischen Lagekoordinaten, analog der Gebäudekoordinaten. „Analog“ meint unter anderem auch, dass die beschriebene offene Problematik der Umstellung von TGL- auf DIN-Darstellungsform zu lösen ist, als auch dass die Höhenwerte über NN zu implementieren sind. Einzelheiten zur *Z-Positionierung* sind im Abschnitt 4.5.1 zu finden.

Geometrie

Das „große Problem“ bei der Visualisierung von Bäumen ist die Differenziertheit und Mächtigkeit der Natur. Einige wissenschaftliche Abhandlungen über Nachbildungen von vegetativen Habiti mittels der fraktalen Geometrie zeigen vielversprechende Ergebnisse in der Beschreibung von 3D-Modellen auf. Für weitere Informationen bietet sich eine Thematik der Chaostheorie an. In diesem Zusammenhang wird auf iterative Lösungsansätze und L-Systeme verwiesen (siehe Peitgen et al., 1992). Die sich daraus ergebenden 3D-Modelle werden letztlich durch sehr viele Polygone beschreiben, die für eine Echtzeitvisualisierung ungeeignet sind.

Mit „*Viele Polygone bedeuten viel Renderzeit und viel Speicherbedarf*“ bewirbt ein Anbieter von Pflanzenbibliotheken seine geringen Polygonzahlen, von beispielsweise nur 8.000 bzw. 16.000 Polygonen je Baum. Allein bei einer straßenbegleitenden Baumanzahl von etwa 6800 Stück im Bereich der Altstadt von Magdeburg (siehe Tabelle 4, S.96) beträgt die Anzahl der Polygone im Gesamtszenario mindestens 54,4 Millionen Polygone. Mindestens die gleiche Anzahl ist durch die Darstellung von stadtbildprägenden Sträuchern zu erwarten. Demnach sind insgesamt allein für die Vegetationsmodelle etwa 110 Millionen Polygone zu verarbeiten. Die gegenwärtige High-End-Grafikkartenleistung eines PCs, beispielsweise einer Radeon 9700 von ATI, liegt bei 300 Millionen Polygonen pro Sekunde. Somit ist diese Art der Darstellungstechnik von Vegetationsmodellen in einer ausreichenden Bildwiederholungsrate für eine Echtzeitvisualisierung noch nicht möglich.

Daraus folgt, dass die Modelle der Vegetation möglichst eine einfache Geometrie aufweisen müssen, ohne ihre städtebauliche Wirkung im 3D-Stadtmodell zu verlieren.

Eine optimale Lösung stellt die Verwendung von Billboards dar. Unter einem Billboard versteht man in der Virtual Reality Modeling Language (VRML) einen Gruppenknoten, der sein lokales Koordinatensystem permanent insofern anpasst, dass die untergeordneten Objekte auf den Betrachter der 3D-Szene ausgerichtet sind. Ändert der Betrachter seine Position im Szenario, so ändert sich die Ausrichtung des lokalen Koordinatensystems des Knotens. Dabei kann jede Koordinatenachse für die Rotation angesteuert werden. Objekte mit allseitig gleicher Ansicht lassen sich somit einfach darstellen. Im vorliegenden Fall bietet sich die Rotation um die feste z-Achse (0, 0, 1) an. Zusätzlich lässt sich unter Verwendung der Alphakanaltechnik (Transparenz) jegliche Gestalt (Habitus) auf nur einer Facette (face) abbilden. Diese Art der Visualisierung ermöglicht beispielsweise einen Baumraum, bestehend aus vielen Einzelbäumen, der mit Hilfe von sehr wenigen geometrischen Daten dargestellt ist und dadurch erheblich an Speicherplatz spart sowie wenig Renderzeit benötigt (siehe Abbildung 44-a).



(a) Bäume als raumbildende Objekte

(b) jahreszeitenspezifische Baumdarstellung

Abbildung 44: Baummodelle im 3D-Stadtszenario

Für eine optimale Mehrfachverwendung dieser Technologie sind die Billboards der Bäume nach Sorte und Typ zu definieren, zu erstellen und zu katalogisieren. Dazu bietet es sich an die Billboards nach Baumart und -höhe zu klassifizieren. Nach Abwägung der anzustrebenden Darstellungsqualität (siehe Tabelle 1, S.20) resultiert ein Baumkatalog, der alle Baumarten (Art) mit vier entsprechenden Typen (Größe) beinhaltet.

Die Baumvegetation ist dementsprechend in ihre Baumarten und je in vier Baumhöhen - 5m, 10m entspr. junge, kleine Bäume und 15m, 20m entspr. alte, große Bäume - klassifiziert. Die Geometrie der Bäume besteht lediglich aus zwei Polygonen.

Als Vorzug dieser Methode ist die Möglichkeit einer jahresperiodischen Visualisierung zu erwähnen (siehe Abbildung 44-b, S.69). Lediglich durch das Austauschen des *Baumtexturkataloges* können Bäume innerhalb des Szenarios in unterschiedlichen Jahreszeiten dargestellt werden.

Neben dem jahreszeitlichen Aspekt der Vegetation ist die des Wachstums (Dynamik) von planerischer Wichtigkeit. In der Praxis der Stadtplanung werden die dynamischen Habiti in ihren minimalen und maximalen Dimensionen oft aus Unkenntnis vernachlässigt. Die Implementierung eines Wachstumskataloges kann diesem Missstand entgegenwirken. Die Basis zur Darstellung dieser dynamischen Prozesse ist das Setzjahr / Setzalter der Flora und deren spezifische Wuchsgeschwindigkeit. Eine Möglichkeit zur Bereitstellung eines *Baumtexturkataloges* ist im Folgenden beschrieben.

Texturkatalog

Die zuvor klassifizierten vier Billboardgrößen je Baumart werden mit ihren dazugehörigen Texturen versehen. Die Texturen entstammen einem *Texturkatalog* (siehe Abbildung 45).

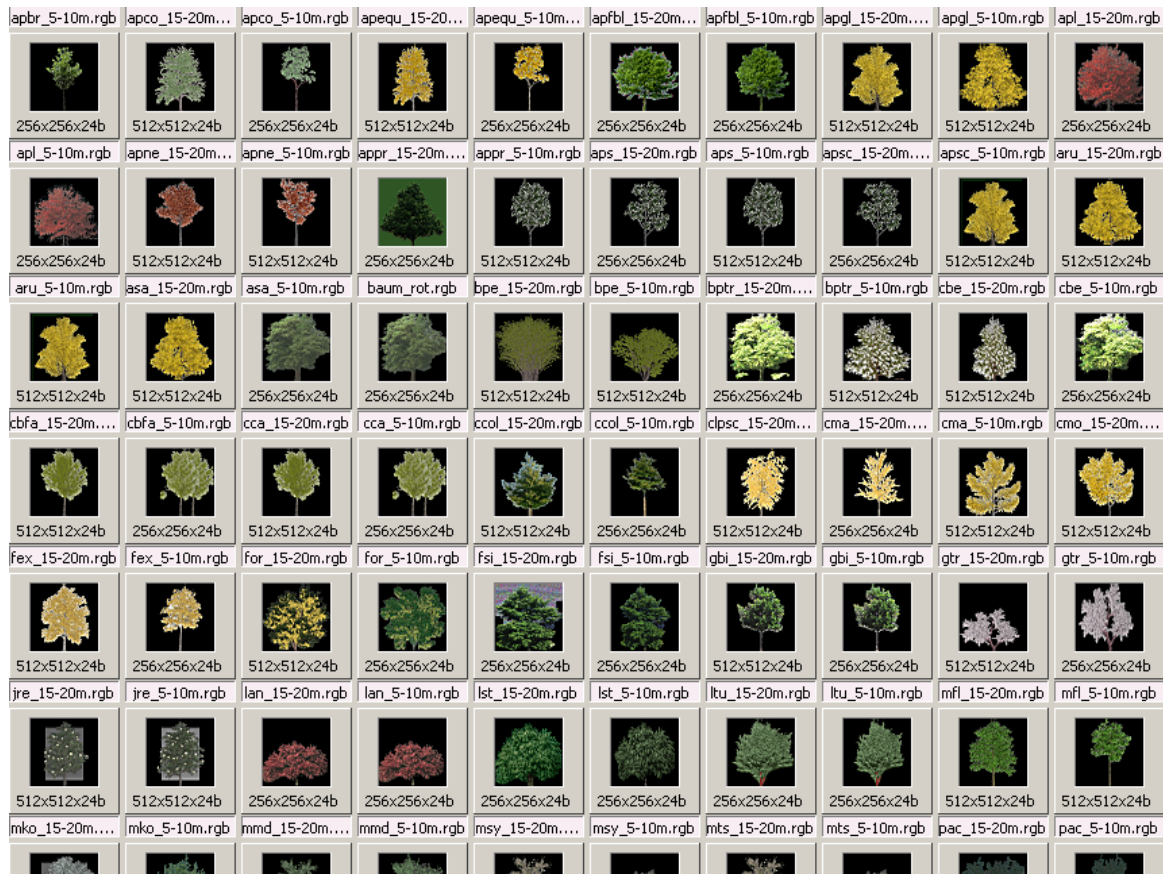


Abbildung 45: Baumtexturkatalog (Auszug)

Die Auflösung der Texturen entspricht für junge Bäume 256 x 256 Pixel und alte Bäume 512 x 512 Pixel. Inhaltlich füllt sich der *Texturkatalog* aus unterschiedlichsten Quellen: Baumbilderkatalogen, Realfotos, computergenerierten Baumansichten, etc. (vgl. <http://www.oakcorp.net/xfrog/treelib.shtml>).

Zusammenfassung und Fazit

Beschrieben ist eine Methodik zur Erzeugung der Baumvegetation für ein 3D-Stadtmodell aus dem amtlichen Baumkataster, einem zu erstellenden *Texturkatalog* und einer entsprechenden Darstellungstechnik. Mit der geschilderten Vorgehensweise lassen sich beliebige Baumkataster visualisieren. In Anlehnung an ein weitreichenderes Vegetationskataster (Gehölze und Nichtgehölze) kann somit nahezu die gesamte Flora eine pseudodreidimensionale Darstellung finden. Ein solches Vegetationskataster wird seit 1997 von der Deutschen Bahn AG für die Vegetationskontrolle im Bereich der Gleisanlagen geführt.

Durch einen Vergleich zwischen dem erzeugten 3D-Baumkatastermodell und der Realität zeigt sich eine Unvollständigkeit und -richtigkeit im Baumkataster von nicht unwesentlichem Ausmaß. Es fehlen teilweise komplette Straßenzüge bzw. sind Bäume vorhanden, die es in Wirklichkeit an diesen Positionen nie gab oder nicht mehr gibt. Dennoch können diese teils unrichtigen, teils richtigen Ergebnisse in das Gesamtszenario eingestellt werden, zumal eine manuelle Nachbearbeitung möglich ist.

4.4 Weitere Bestandteile

Neben den bereits erzeugten Bestandteilen einer virtuellen 3D-Stadt: Geländemodell, Gebäudemodelle und Vegetationsmodell sind Weitere einzubringen. Hierbei handelt es sich nicht nur um „Schmuckwerk“, sondern teilweise um wesentliche Bestandteile, die u. a. die Aufgabe haben, die Methoden der VR zu unterstützen.

Um den Bestand an Modellen innerhalb eines virtuellen Stadtmodells nicht für die fachliche Stadtplanung sondern auch für die stadtplanerisch interessierte Bevölkerung (Nichtplanungsbeteiligte oder Informationssuchende) zu komplettieren, bleiben letztlich noch das temporäre Kleinstinventar (Haltestellen, Energieversorgungsschränke, Straßenschilder, etc.) sowie die Mobilen (Bevölkerung, Tierwelt, Fahrzeuge, etc.) einer realen Stadt zu visualisieren. Des Weiteren wird der Notwendigkeit von *Detailmodellierungen* wie öffentliche Beleuchtung und Bordsteinkanten nachgegangen. Auf Grund der Anforderungen an ein 3D-Stadtmodell für die VR-Stadtplanung sind diese Objekte nicht unbedingt von Wichtigkeit. Dennoch sollen hier einige Möglichkeiten der Erzeugung von solchen Modellen aufgezeigt werden.

Abschließend ist eine Realisierungsmöglichkeit der Atmosphäre beschrieben, die normalerweise von jedem Betrachter unbewusst wahrgenommen wird. Dementsprechend sind geeignete Mittel und Wege formuliert.

4.4.1 Kleinstinventar, Mobilen

Haltestellen z. B. sind bautechnische Anlagen und infolgedessen Teil der dSGK. Für eine Erzeugung dieser Modelle sind die dementsprechenden Daten auszulesen und in ähnlicher Weise zur Methodik der Gebäudeerstellung zu verarbeiten. Viele Haltestellen besitzen einen gleichen Bautypus und sind somit in ihrer Geometrie mehrfach nutzbar (siehe Abbildung 46).



Abbildung 46: Menge von Kleinstinventar im 3D-Stadtmodell

Straßenbahnen, Autos, etc. haben (wie zuvor Haltestellen) üblicherweise jeweils annähernd ähnliche Geometrien (siehe Abbildung 47).

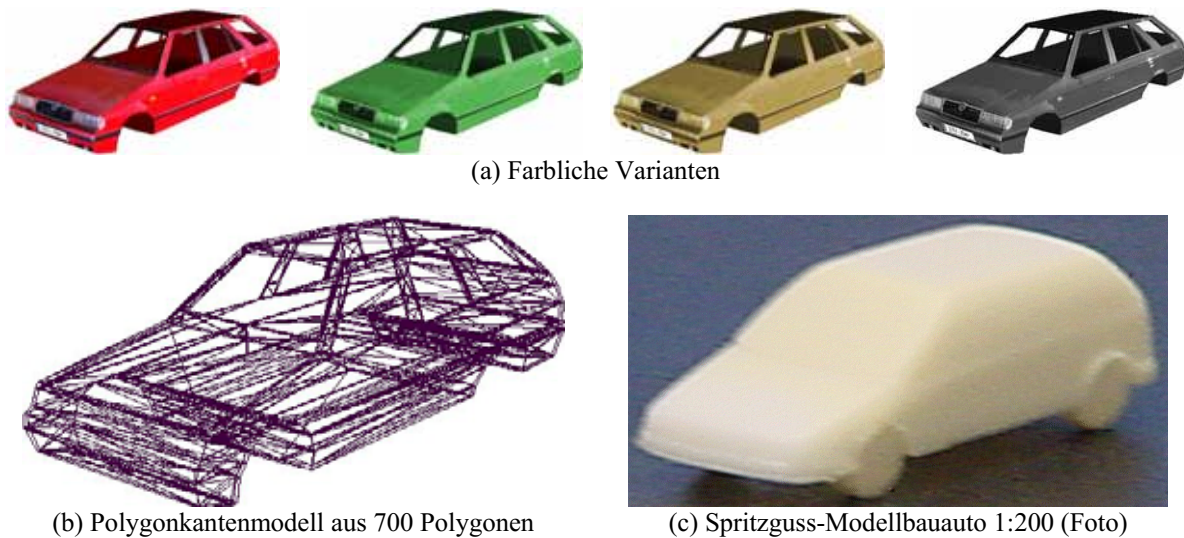


Abbildung 47: Automobil in unterschiedlichen Modell- und Farbvarianten

Mit Blick auf die Erstellung einer virtuellen Stadt ist die Polygonanzahl bei diesen Objekten eher gering und somit abstrakt zu halten. Dabei lässt sich feststellen, dass die Ähnlichkeit mit dem Grad der Abstraktion zunimmt (siehe Abbildung 47). Es genügt demnach bei einem hohen Grad der geometrischen Abstraktion eine Geometrie je Art des Objektes mit jeweils unterschiedlichen Texturen bereitzustellen. Die Texturen sind hierfür in gleicher Art und Weise zu den Gebäuden und der Vegetation einem *Texturkatalog* zu entnehmen (siehe Abschnitte 4.2.3, 4.3.2). Das Ergebnis dieser Vorgehensweise sind verschiedenste Modelle auf jeweils gleicher geometrischer Basis. Für einen Vergleich des Detailgrades zwischen dem realen Modellbau und dem 3D-Stadtmodell ist ein übliches Modellbauauto dargestellt.

4.4.2 Laternen, Bordsteinkanten

Ergänzend zum vorherigen Abschnitt werden nachfolgend die öffentliche Beleuchtung und die Straßenbegrenzung im 3D-Stadtmodell betrachtet.

Öffentliche Beleuchtung

Ein möglicher Zusatz für ein 3D-Stadtmodell zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung sind je nach Anforderung die *Laternen*. Unter Laternen ist die öffentliche Beleuchtung der Stadt zu verstehen. Bereits im Altertum war die Beleuchtung von Hauptstraßen bekannt und gebräuchlich. Zur Erhöhung der Sicherheit brannten die ersten Laternen in Paris ab dem Jahr 1558. Danach nahmen sie ihren Siegeszug durch die europäischen Hauptstädte. Anderweitig mussten nächtliche Besucher eigene Laternen mitführen, z.B.: Lampions (vgl. <http://www.wien.gv.at/licht/gesch.htm>).

Als Ausgangsdaten für die Erstellung von Laternenmodellen innerhalb einer virtuellen Stadt bietet sich wiederum die dSGK an. Zum Vergleich sind die Einträge der Laternen aus der dSGK Planquadrat 7677A dargestellt (siehe Abbildung 48).



Abbildung 48: Ebene 9, 12 und 17 der dSGK Planquadrat 7677A (siehe Anhang B)

Alle Laternensorten in dieser Darstellung sind mit den Buchstaben (**a**) für Stahl-, (**b**) für Stahlbeton- und (**c**) für Holzlaterne gekennzeichnet. Auf Grund der besprochenen Problematik *TGL* ↔ *DIN* (Abschnitt 4.2.1) sind keine detaillierten Informationen enthalten. Somit ist zwar die Laternensorte jeder Laterne zuzuordnen, aber die nötigen Angaben über den jeweiligen Laternentypen: 1-armig, 2-armig etc. und die Befestigungsart: erdberührt, fassadenmontiert oder oberleitungstragend sowie die Orientierung sind nicht vermerkt. Dementsprechend ist eine automatisierte Positionierung von Laternen im 3D-Stadtmodell mit diesen Ausgangsdaten nur eingeschränkt möglich. Eine exakte Positionierung bedarf entweder anderer Ausgangsdaten oder einer manuellen Vorortbesichtigung. Bei einer Anzahl von insgesamt 6.000 öffentlichen Beleuchtungsvorrichtungen in Magdeburg Altstadt und Neu-Olvenstedt ist eine rein manuelle Bestimmung der Spezifikationen schwer zu realisieren (siehe Tabelle 4, S.96).

Eine einfache automatisierte Möglichkeit, Laternen dennoch zu visualisieren, ist die Methodik der Erzeugung von Vegetationsmodellen zu applizieren. Damit kann zumindest die Problematik der Orientierung von Laternen umgangen werden. Das Ergebnis ist eine Darstellung der öffentlichen Beleuchtung durch Einheitslaternen (siehe Abbildung 49).



Abbildung 49: Laternen im Bereich Kloster Unser Lieben Frauen - Magdeburger Altstadt

Straßenbegrenzung

Bei einigen Anwendungsfeldern für ein 3D-Stadtmodell sind *Bordsteinkanten* sehr wichtige Bestandteile - z.B.: Fahrsimulator, Verkehr, Vermessung, etc. (siehe Abschnitt 2.3.2).

Hingehen erlässlich sind je nach Bedarf die *Bordsteinkanten* für die VR-Stadtplanung. Bordsteinkanten weisen meist eine sehr geringe Höhe von maximal fünfzehn Zentimetern auf. Durch die relativ hohe Auflösung der Luftbilder, die als Textur für das Geländemodell verwendet werden, und die Größenverhältnisse der jeweiligen Flächen - Grünflächen, Fußwege und Straßen - sind diese im Detail unterscheidbar. Für die Zwecke der VR-Stadtplanung ist es ausreichend, wenn die Visualisierung von Bordsteinkanten bzw. Fußwegen über die Textur der Luftbilder dargestellt ist, ähnlich der von Fensterlaibungen im Bereich der Gebäudemodellierung. Untermauerung findet diese Aussage in den technischen Baumaßstabsbestimmungen, indem der Darstellungsgrad einer Visualisierung jeweils abhängig vom Maßstab definiert ist (vgl. Wendehorst, 1994).

4.4.3 Atmosphäre - virtuelle Szenariogrenzen

Für die Erzeugung einer realistischen städtebaulichen Visualisierung ist es unbedingt erforderlich, die optisch wahrnehmbare Atmosphäre, den Himmel darzustellen. Das Modell Himmel ist eines der immersivsten Elemente innerhalb eines virtuellen Stadtmodells. Das heißt, es verstärkt unter anderem primär das Eintauchen des Benutzers in die virtuelle Welt erheblich und fördert daher entscheidend die Imagination (siehe Abschnitt 2.2).

Für die Darstellung des Himmels im 3D-Stadtszenario kommt ein Modell, bestehend aus einer geometrisch angenäherten, texturierten, rotierenden Halbkugel zum Einsatz (siehe Abbildung 50).

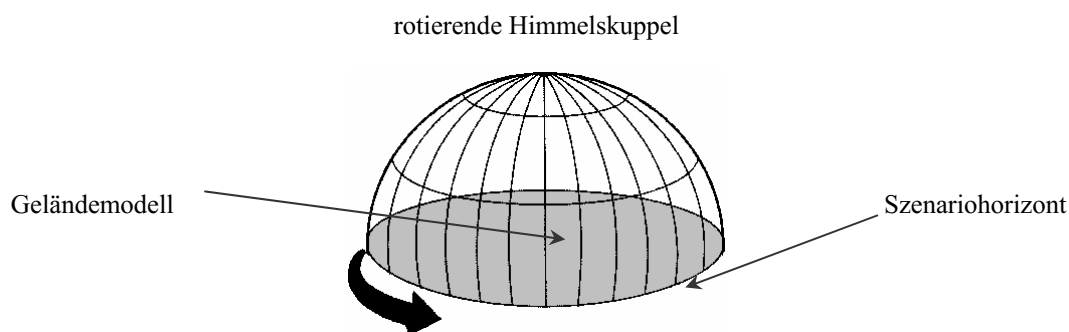


Abbildung 50: Himmelhalbkugel (vgl. http://www.adria-yachting.com/pictures/info_pic/nav-1.jpg)

Bei der dreidimensionalen computergrafischen Umsetzung bietet es sich an, die Geometrie der Halbkugel durch einen Vielflächner (Halb-Polyeder) zu beschreiben (siehe Abbildung 66-a, -b, S.94).

Der Einsatz eines polyedrischen Himmelmodells bringt beispielsweise gegenüber einem Bild aus 3D-Wolken und einer blauen Hintergrundfarbe oder gar der Berechnung von Partikeleffekten verschiedene Vorteile mit sich. Zum einen verfügt ein Polyeder über eine absehbar geringe Anzahl von Polygonen und ist somit leicht zu modellieren und hinsichtlich einer Visualisierung in Echtzeit rechnerschonend zu verarbeiten. Zum anderen ermöglicht es in Verbindung mit dem Geländemodell die Implementierung einer virtuellen Grenze (siehe Abschnitt 3.1). Durch die Verwendung von 3D-Collision-Detektion kann der Benutzer innerhalb eines zuvor definierten Raumes gehalten werden. Die Grenzen des Raumes werden im 3D-Stadtmodell durch die Geometrie des Himmelpolyeders und des Geländemodells definiert. Innerhalb dieses von den Geometrien beschriebenen Raumes kann sich der Benutzer frei bewegen. Darüber hinaus wird der Benutzer in seinen Positionsgraden beschränkt. Somit ist, bis auf die Problematik des verfälscht gekrümmten Horizonts (siehe Abbildung 66-d, S.94), die mit zunehmender Geländefläche bzw. mit abnehmender Benutzerhöhe an Gewicht verliert (siehe Abbildung 66-e, S.94), diese Methodik der Visualisierung einer Atmosphäre für die Zwecke der VR-Stadtplanung geeignet.

Für eine zusätzliche Steigerung der Immersion kann der Himmelpolyeder in permanente Rotation um sich selbst bzw. um seine Z-Schwerpunktachse (0, 0, 1) gebracht und mit einer detaillierten Wolkentextur belegt werden. Dementsprechend brauchen keine aufwendigen atmosphärischen Effekte berechnet zu werden. Um den Grad des Realismus nochmalig zu erhöhen, sind zwei ineinander verschachtelte Polyeder zu erstellen (siehe Abbildung 51-a, -b, -c).



(a) zusammenhängend

(b) zerreißend

(c) getrennt

Abbildung 51: Strömender Wolkenverband über 3D-Stadtmodell (Markierung)

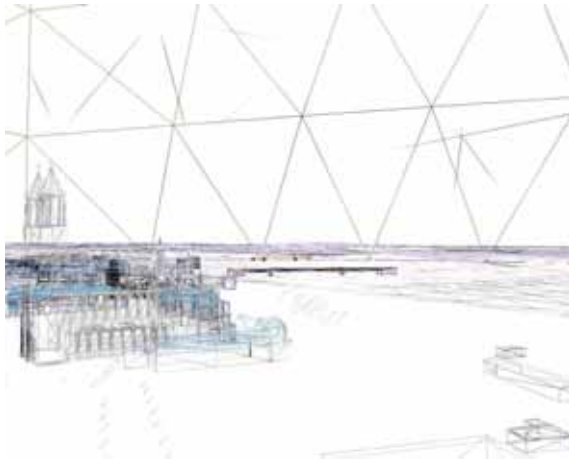
Dabei erhält das innere von beiden eine Alpha-Textur. Infolge unterschiedlicher Rotationsgeschwindigkeiten erreicht man den Eindruck eines zerreißenden Wolkenverbands, der in einer Serie abgebildet und markiert ist.

4.5 Integration aller Bestandteile zu einem 3D-Stadtmodell

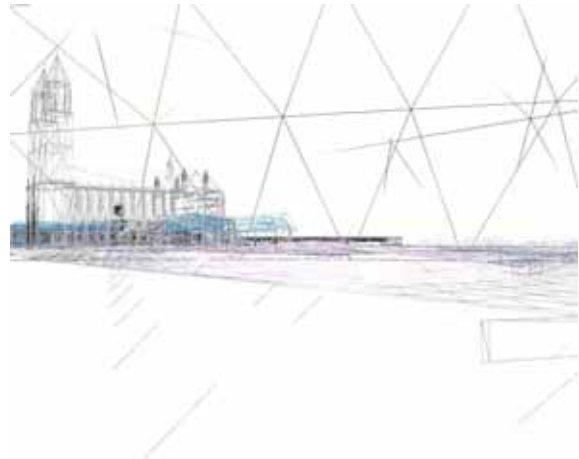
In den vorangegangenen Abschnitten ist jeweils die Erzeugung der einzelnen Objekte eines 3D-Stadtmodells - Geländemodell, bauliche Anlagen, Freiräume und sonstige Objekte - beschrieben. Im Folgenden wird die Integration aller Bestandteile in ein Gesamtmodell dargestellt. Da alle Objekte bisher nur in ihrer Topografie orientiert sind, bedarf es zudem der Zuweisung der jeweiligen *Z-Position*. Das Ergebnis ist ein der wirklichen Topologie angenähertes virtuelles Stadtmodell.

4.5.1 Höhenzuweisung

Unter den Z-Positionswerten ist die Höhenlage der jeweiligen Objekte im Szenario zu verstehen. Gegenwärtig befinden sich alle Objekte außer den Geländemodellen auf der Nullebene (siehe Abbildung 52-a, -c).



(a) Polygonkantenmodell vor Höhenzuweisung



(b) Polygonkantenmodell nach Höhenzuweisung



(c) Detailmodell vor Höhenzuweisung



(d) Detailmodell nach Höhenzuweisung

Abbildung 52: Höhenzuweisung am Beispiel der Magdeburger Altstadt

Die jeweilige X / Y Positionierung geht aus den realen Lagekoordinaten der Objekte hervor, die wiederum auf Basis der dSGK oder des dBKs gegeben sind. Beide Grundlagen enthalten, wenn überhaupt, nur sporadische Höheninformationen. Einzig das DGM verfügt weitgehend kontinuierlich über geländespezifische Höheninformationen. Das bedeutet, dass sämtliche Objekte auf Grundlage des jeweiligen Geländemodells (siehe Abschnitt 4.1.2) in der Höhenlage zu orientieren sind. Die Objekte sind somit im Szenario nicht mehr nur topografisch eingeordnet, sondern erhalten ihre zur topologischen Lage notwendige Z-Position im dreidimensionalen virtuellen Raum.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind die Höhenwerte entsprechend ihrer topografischen Lage aus dem Geländemodell zu ermitteln und zuzuweisen (siehe Abbildung 52-b, -d, S.77). Der entsprechende Höhenwert eines Objektes ergibt sich, wie beschrieben, aus dem Polygonnetz des jeweiligen Geländemodells. Dementsprechend ist der Höhenwert der Objekte zu ermitteln und so zuzuordnen, dass alle Grundrisspunkte eines Objektes maximal auf Höhe des entsprechenden Geländes liegen. Das Ergebnis der Nivellierung entspricht dem Höhenwert des Gebäudes. Das Gebäude ist somit in der Topologie des Geländes eingebettet.

Besondere Umstände, beispielsweise das Rastermaß im DGM, müssen im Vorfeld beachtet und ausgeglichen werden. Das DGM repräsentiert lediglich eine Annäherung der topologischen Situation zur Realität. Dadurch kann es dazu kommen, dass zum Teil Gebäude im Bereich des Gebäudesockels nicht zum Geländemodell passen und dadurch zu tief in dieses hineinragen. Ansatzweise ist mittels geometrischer als auch textueller Verlängerung des Gebäudesockels entgegengesetzt der Z-Achse vorzugehen (siehe Abbildung 53).



(a) Gebäudesockel



(b) transparente Umgebung



(c) ausgeblendete Umgebung

Abbildung 53: Verlängerung des Gebäudesockels

Als Ergebnis ragen Objekte höher aus dem Geländemodell heraus, so dass ihre ordnungsgemäße Darstellung der Gebäudefassaden gesichert ist. Wie diesbezüglich die Datenstruktur des gesamten Szenarios aussieht, zeigt der folgende Abschnitt.

4.5.2 Datenstruktur - Szenariofile

Auf Grundlage der hierarchischen Konzeption ist in diesem Abschnitt die Datenstruktur des Gesamtmodells beschrieben (siehe Abschnitt 4). Der Basisdatenstruktur des 3D-Stadtmodells liegt die Planquadratorordnung Q500 der dSGK zu Grunde. Somit baut sich die Hierarchie des 3D-Stadtmodells bzw. des Szenarios wie folgt auf (siehe Abbildung 54), (siehe Anhang C):

```

STADTSZENARIO:
{
    ...

    Objekte:
    ...
    7578c_qu500 {
        SHAPE          [ 7578c.obj ]}
    Hotel_Ratswaage_near {
        SHAPE          [ Ratswaage_near.obj ]}
    Hotel_Ratswaage_far {
        SHAPE          [ Ratswaage_far.obj ]}
    ...

    Hierarchie:
    ...
    7578c_qu500 {
        Hotel_Ratswaage_near
        Hotel_Ratswaage_far}
    ...

    Kriterien:
    ...
    Kr_LoD_Hotel_Ratswaage {
        COND           [ Distanz Hotel_Ratswaage:Benutzer =< 650m) ]}
    ...

    Kausalitäten:
    ...
    Ka_LoD_Hotel_Ratswaage {
        Krit           [ Kr_LoD_Hotel_Ratswaage ]
        SW_TRUE        [ Re_LoD_Hotel_Ratswaage_near ]
        SW_FALSE       [ Re_LoD_Hotel_Ratswaage_far ]}
    ...

    Reaktionen:
    ...
    Re_LoD_Hotel_Ratswaage_near {
        ACT            [ ObjectUnhide Hotel_Ratswaage_near ]
        ACT            [ ObjectHide Hotel_Ratswaage_far ]}
    Re_LoD_Hotel_Ratswaage_far {
        ACT            [ ObjectHide Hotel_Ratswaage_near ]
        ACT            [ ObjectUnhide Hotel_Ratswaage_far ]}
    ...

}

```

Abbildung 54: Basisdatenstruktur mit implementierten LoD-Knoten am Beispiel Hotel Ratswaage
(vgl. Hintze et al., 1999; Hintze et al., 2000; Hugodokumentation 2002)

Im ersten Teil sind die Bestandteile des Gesamtmodells vereinbart. Jedes Objekt erhält eine Identifikation sowie einen Verweis auf sein texturiertes geometrisches Pendant, z.B. eine OBJ-Datei (siehe Anhang D, E). Dabei sind implementierte LoD-Pendants ebenfalls berücksichtigt (siehe Abschnitt 4.5.3). Im Anschluss folgen die speziellen Eigenschaften der jeweiligen Objekte oder des Szenarios.

Darüber hinaus können in dieser Datenstruktur weitere Eigenschaften (Licht, Standpunkte, Menüs, Prozeduren, Funktionalitäten, etc.) vereinbart werden.

4.5.3 Level of Detail - computergrafisch

Die Idee der Verwendung von LoD-Techniken ist das komplette 3D-Stadtmodell auf leistungsbegrenzten Systemen (Einzelplatzrechner) in Form von einfachen Basisgeometrien mit anforderungs- oder entfernungsabhängigen Verfeinerungsoperationen zu visualisieren, um den Anforderungen der Stadtplanung zu entsprechen (siehe Abschnitt 2.3.2). Hierfür werden auszugsweise einige LoD-Techniken vorgestellt:

Nah und Fern

Eine der wichtigsten Techniken ist die entfernungsabhängige Präsentation von Objekten. Sie beschreibt eine benutzerstandortabhängige Darstellung eines Objektes in seinem geometrischen als auch textuellen Detailgrad. Die Verfeinerungsoperation wird über einen LoD-Knoten gesteuert, wie er der Basisdatenstruktur zu entnehmen ist (siehe Abbildung 54, S.79). Er besteht im Detail aus Kriterium, Kausalität und Reaktion. Ein LoD-Knoten dient der Bereitstellung alternativer, verschieden detaillierter Darstellungen von Objekten für unterschiedliche Entfernungsintervalle in geordneter Folge (siehe Abbildung 55).



(a) Hotel Ratswaage - Fern



(b) Hotel Ratswaage - Mittel



(c) Hotel Ratswaage - Nah

Abbildung 55: LoD-Technik an einem Beispiel in Magdeburg

Ein Gebäude wird beispielsweise aus der Nähe mit Texturmuster (aus einer Bilddatei) und aus mittlerem Abstand einfarbig dargestellt. In großem Abstand verschwindet das Gebäude ganz. Um den entstehenden Umschalteffekt (Switching) zu vermeiden, kann eine weitere LoD-Technik verwendet werden. Mit zunehmendem Benutzerabstand kann *Nebel* (Fog) eingeblendet werden. Die Farbe, die Stärke und der Typ des Nebels lassen sich exponentiell oder linear zum Abstand in ihrer Wirkung einstellen.

Ein konkretes Beispiel ist in Serie in der Abbildung 55-a, -b, -c zu sehen. Die Abbildungen zeigen die Visualisierung der zuvor in Abbildung 54, S.79 dargestellten Basisdatenstruktur.

Textur – Auflösungsanforderung

In Abhängigkeit der Anforderung an ein 3D-Stadtmodell kann eine weitere, sehr effiziente LoD-Technik Anwendung finden. Je nach Anforderung an Details unter den Gesichtspunkten der Stadtplanung und der Echtzeitvisualisierung ist die generelle Texturauflösung variabel bereitgestellt. Um dieses Ziel auf einfache Art und Weise zu realisieren, bietet sich das OBJ oder FLT Modellbeschreibungsformat für die jeweiligen Bestandteile des 3D-Stadtmodells an. Diese beiden Datenformate setzen sich prinzipiell aus Einzeldaten, d.h. einer geometrischen und einer textuellen Datei sowie einer Materialbibliothek (nur OBJ) zusammen (siehe Anhang D, E). Die Mengen aller Einzeldaten befinden sich jeweils in einem Geometrie-, Textur- oder Materialverzeichnis (nur OBJ). Dabei liegen die Texturdateien als RGB Pixeldaten vor. Diese Gliederung ermöglicht die Bereitstellung unterschiedlich detaillierter Auflösungsstufen. Inwieweit sich durch die Nutzung dieser Technik an

Arbeitspeicher sparen lässt, verbildlicht die Texturpyramide. Die Illustration beginnt unten mit der originalen Auflösung und endet mit zwei PpM (siehe Abbildung 56).



Abbildung 56: Texturpyramide mit Originalauflösung bzw. 32, 16, 8, 4, 2 PpM

Somit können beliebig viele Auflösungsstufen schon im Vorfeld der Visualisierung berechnet werden und dementsprechend je nach Bedarf eine leichte Verwendung finden.

Textur - Koordinaten

Als letztes Beispiel einer LoD-Technik ist die Verwendung von Texturkoordinaten zur systematischen Platzierung und Wiederholung von Texturen auf Facetten zu erwähnen. Diese Technik findet hauptsächlich bei der manuellen Erstellung von Objekten Anwendung (siehe Abschnitt 3.4). Eine Implementierung auf Ebenen der automatisierten Gebäudemodellierung ist anzustreben, aber im Rahmen dieser Arbeit nicht realisiert (siehe Abschnitte 4.2.2, 4.2.3).

4.6 Zusammenfassung

Abschließend zu den einzelnen Erstellungsmethodiken werden alle in einer Gesamtmethodik zusammenfassend dargestellt und nochmals benannt. Die nachfolgenden Erläuterungen beziehen sich auf Abbildung 57.

Ein 3D-Stadtmodell speist sich aus den verschiedensten Modellen, die wiederum aus den unterschiedlichsten Ausgangsdaten erstellt werden. Grundlegend stehen für alle Modelle digitale und analoge, gepflegte Datensätze zu Verfügung. Darüber hinaus müssen in Spezialfällen gesondert Daten gewonnen werden.

Ob Gebäude-, Gelände-, Vegetations- oder Umgebungsmodell - kurz alle Modelle - einer virtuellen dreidimensionalen Stadt werden zur Erhöhung des Detailgrades mit Texturen aus Realfotos belegt. Die Gebäudemodelle erhalten ihre Fassadentexturen direkt aus Fotos (Fotogrammetrie) oder aus einem zuvor erstellten Fassadenbausteinatalog und ihre

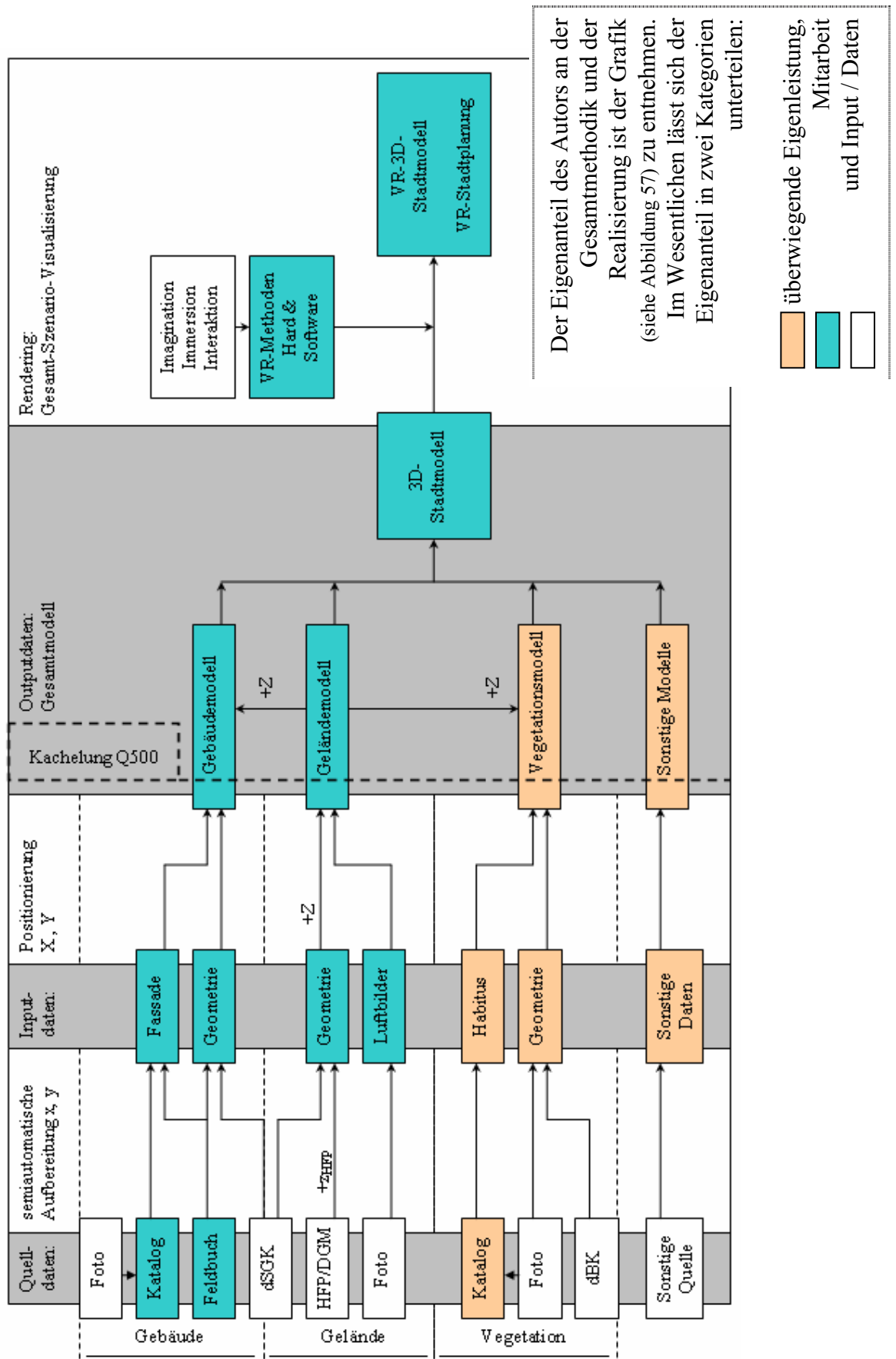


Abbildung 57: Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der VR-Stadtplanung

Dachtexturen direkt aus den jeweiligen Luftbildern. Die Luftbilder werden des Weiteren direkt dem Geländemodell zugeordnet. Texturen für die Vegetationsmodelle sind meist aus bestehenden fotografischen oder künstlich generierten Vegetationskatalogen sowie realen Fotos zu entnehmen. Darüber hinaus sind die Texturen für die weiteren Bestandteile eines 3D-Stadtmodells direkt der Realität mittels Fotoaufnahme zu entnehmen.

Für die geometrische Erstellung von Modellen gibt es drei wesentliche Quellen der Ausgangsdaten. Die Inhaltsreichste ist die digitale Stadtgrundkarte (dSGK). Ihre Daten stellen die wesentlichste topografische Grundlage zur Erstellung der Gebäudemodelle dar. Nebenher ist sie u. a. für die Hierarchieordnung des gesamten 3D-Stadtmodells maßgebend. Auf Grund der Art und Weise der Erstellung der digitalen Stadtgrundkarte ist ein Feldvergleich zwischen Karteninhalt und Realität unbedingt notwendig. Als weitere Quelle lässt sich das digitale Baumkataster (dBK) benennen. Hierin sind sämtliche Bäume topografisch, ab einem Setzalter von mindestens zwei Jahren, mit fast all ihren botanischen Merkmalen vermerkt. Die dritte signifikante Quelle ist das digitale Geländemodell (DGM). Es setzt sich aus einer Vielzahl von Höhenfestpunkten (HFP) gleichen Rasterabstands zusammen, welche nahezu die gesamte Topologie der Landschaft erfassen.

Sämtliche, aus diesen und anderen Quellen gewonnenen Modelle werden letztendlich zu einem dreidimensionalen Stadtmodell (3D-SM) zusammengefasst, indem sie alle in ihrer topologischen Lage an das Geländemodell angeglichen werden. Das erzeugte 3D-Stadtmodell bildet zusammen mit dem Einbringen von verschiedenen spezifischen Modelleigenschaften und mit der Verwendung von VR-Methoden ein städtisches Szenario. Somit steht dieses als virtuelles Planungswerkzeug für die Stadtplanung zur Verfügung.

4.7 Visualisierungssystem

Das erzeugte Szenario kann mit einem beliebigen *Visualisierungssystem* betrachtet werden. Gegebenenfalls sind die Szenariodaten in eine entsprechende Datenstruktur zu konvertieren. Die verwendete Visualisierungssoftware sollte neben der reinen Präsentation auch eine interaktive Bearbeitung zulassen. Einige solcher Softwarepakete sind in Abschnitt 2.3.3 dargestellt. Für die VR-Stadtplanung wird im Rahmen dieser Arbeit die **VDT**-Plattform Hugo (Virtual Development and Training) des Fraunhofer IFF eingesetzt. In erster Linie ist diese Plattform für den virtuellen Maschinenbausektor konzipiert: *„Hugo ist ein visuell-interaktives Programmsystem, das es erlaubt, mit virtuellen 3D-Modellen komplexer Maschinen oder Anlagen in ähnlicher Weise zu interagieren wie in der Realität. Dabei kann neben dem Aussehen und den Bewegungen auch das Verhalten der modellierten Maschinen bzw. Anlagen dargestellt werden, also z.B. die Reaktion auf richtige oder falsche Eingriffe bei Montage, Demontage oder Reparatur. Insbesondere für komplexe Lerninhalte oder andere Zusammenhänge im technischen Umfeld ergibt sich dadurch eine sehr intuitive Möglichkeit der Vermittlung mit hohem Wiedererkennungswert. ... Ein besonderer Fokus des Hugo liegt auf Training mit den schwerpunktmäßigen Lernzielen Hintergrundwissen, Prozedurwissen und Diagnosefähigkeit.“* (vgl. VDT-IFF, 2002). Mit dieser Plattform lassen sich weitere Funktionen in das 3D-Stadtmodell, wie Interaktionen, Manipulationen, Eigenschaften, usw. implementieren. Dabei bestätigt sich die Ansicht, dass sich ein solches System über seine eigentliche Entwicklungsabsicht hinaus u. a. für die Visualisierung einer virtuellen Stadt als *virtuelles Produkt* zum Zweck der VR-Stadtplanung eignet (siehe Abschnitt 3.7).

4.8 Erkenntnisse und Auswertung

Nach der Erstellung ist vor der Erstellung. Erst im Augenblick der Visualisierung des gesamten 3D-Stadtmodells lassen sich einige Fehler in den Szenariodaten erkennen. Daraufhin müssen als erstes die Ausgangsdaten (Input) korrigiert und dann das Modell in diesen Bereichen erneut erzeugt werden. Erst wenn keine Möglichkeit besteht, die Ausgangsdaten direkt zu berichtigen, sind direkte Veränderungen an den erzeugten einzelnen Modellen, im Gesamtmodell oder direkt im Szenario vorzunehmen. Auffällige geometrische oder textuelle Unstimmigkeiten lassen sich daran erkennen, dass die einzelnen Bestandteile des 3D-Stadtmodells nicht zueinander passen. Beispiele hierfür sind u. a.:

- in Gebäudeteilen befindliche Bäume,
- auf Luftbildern erkenntliche, aber als Einzelmodell nicht vorhandene Gebäude,
- auf Gebäuden unkenntliche Fassadenstrukturen,
- Gebäudemodelle, die nicht dem Geländemodell entsprechen etc.

Damit bestätigt sich u. a. der Einsatz des Feldbuchs, wodurch schon in der Vorarbeit einige Unrichtigkeiten ausgeräumt werden können. Im Großen und Ganzen haben sich die Erkenntnisse und die Erfahrungen aus den betrachteten Arbeiten bestätigt (siehe Kapitel 3). Auf die somit im Vorfeld bekannten Schwierigkeiten konnte leicht reagiert und Potenziale ausgeschöpft werden. So sind die Ergebnisse der Gebäude- bzw. der Vegetationsmodelle in der Visualisierung besser als erwartet. Einzig das Geländemodell weist, wie vorauszusehen war, eine zu hohe Ungenauigkeit auf, so dass wesentliche stadtbildprägende Situationen, wie die Reste der Magdeburger Stadtmauer und das Flussufer der Elbe, geometrisch nicht im Modell vorhanden sind. Überraschend hingegen ist die unerwartet hohe immersive Macht der sonstigen Modelle, wie Himmel und Kleinstinventar, und der stereoskopischen Visualisierung. Außergewöhnlich zeigt sich die Problematik der perspektivischen Verzerrung in den Luftbildern. Durch die geringe Auflösung der Luftbilder und der relativ geringen Distanz des Betrachters aus der Fußgängerperspektive, fallen diese Einflüsse weniger ins Gewicht als anfänglich angenommen.

Während der Realisierung des 3D-Stadtmodells und des weiteren Studiums der Sachlage bei verwandten Arbeiten ist ein Faktor immer wieder hervorgetreten. Der Vorschlag einiger paralleler Arbeiten lautet, die digitale Stadtgrundkarte generell um die dritte geometrische Dimension zu ergänzen, d.h. diese nicht nur auf textuelle Informationen zu beschränken. Dieser Vorschlag ist auch auf das Baumkataster auszudehnen. Prinzipiell müssten zukünftig alle stadtplanerisch relevanten Daten topologisch im dreidimensionalen GIS erfasst sein, mit dem Ziel eine Erzeugung eines 3D-Stadtmodells noch einfacher zu gestalten. So erstellte und aufbereitete Ausgangsdaten würden den Weg für eine Visualisierung kompletter komplexer Städte im definierten Sinne nach LoD1 und späterhin nach LoD2 bereiten (siehe Abschnitt 4.2.2).

Computergrafisch lässt sich bereits heute der komplette Stadtkern einer mittelgroßen Stadt wie Magdeburg mit einem PC in einer Auflösung von bis zu acht Pixeln pro Meter (PpM) darstellen. Der erreichte Detailgrad erweist sich als hoch immersiv und genügt nicht nur der Stadtplanung sondern bereits dem Städtebau. Eine Echtzeitvisualisierung mit noch höherer Auflösung im Bereich von 32 PpM ist z. Zt. auf Grund des unzureichenden Arbeitsplatzspeichers (2GB) als grafischer Texturauslagerungsspeicher nur unter der

Beschränkung des Visualisierungsbereichs auf wenige Planquadrate Q500 möglich. Diese Beschränkung ist grundsätzlich durch die hierarchische Ordnung in Verbindung mit der Kachelung (dSGK) des 3D-Stadtmodells gegeben. Eventuell ist eine komplette Visualisierung mit einer Auflösung von 32 PpM unter Zuhilfenahme einer Portaltechnologie zu realisieren. Hierbei ist das 3D-Stadtmodell auf mehrere verknüpfte Szenariodateien aufgeteilt, die indirekt durch den Benutzer geladen werden, indem er Levelportale⁴⁵ benutzt. Ein weiterer Vorteil der Kachelung bzw. der Hierarchienordnung bestätigte sich bereits während der Umsetzung. Der anfänglich abgesteckte Visualisierungsbereich konnte während der Realisierung, je nach Bedarf, leicht erweitert werden.

Bei den ersten öffentlichen Ergebnispräsentationen lässt sich ein hohes Interesse, gerade der älteren Bevölkerung, erkennen (siehe Abschnitt 5.6), so dass seitens der Stadt Magdeburg über eine Fortführung und Weiterentwicklung des 3D-Stadtmodells zum städteplanerischen Bürgerinformationssystem nachgedacht wird. Auch der Einsatz einer disziplinfremden (nicht stadtplanerischen) Visualisierungstechnologie, die eigentlich zur Durchführung von interaktiven Trainingsszenarien an Maschinen entwickelt wurde, erwies sich als eine geeignete Möglichkeit gegenüber herkömmlichen Softwarepaketen (siehe Abschnitt 2.3.3).


⁴⁵ Ein Levelportal ist eine Technologie, die häufig in der Realisierung von Computerspielen Verwendung findet.

Ergebnisse der angewandten Methodik an Beispielen

Dieses Kapitel demonstriert die in der Arbeit entwickelte Methodik und ihre Anwendung. Dazu wird zunächst an einem Beispiel die Gesamtmethodik der automatischen Erstellung eines 3D-Stadtmodells gezeigt, bevor auf einige Details in den Abschnitten 5.1 bis 5.3 näher eingegangen wird. Daten zum Gesamtmodell von Magdeburg Neu-Olvenstedt und Magdeburg Altstadt sowie Gedanken zur Anwendung des vorgestellten 3D-Stadtmodells schließen das Kapitel ab.

Die Abbildung 58 zeigt die Entwicklung des 3D-Stadtmodells von Magdeburg Neu-Olvenstedt für den Bereich Olvenstedter Chaussee Ecke Bruno-Taut-Ring, in den folgenden Phasen:

- (a) Ausschnitt aus der dSGK Planquadrat 7180C
- (b) Luftaufnahme für den entsprechenden Bereich
- (c) Geländemodell (Geometrie)
- (d) Geländemodell mit Textur
- (e) Gebäudemodelle (Geometrie)
- (f) Gebäudemodelle mit Texturen
- (g) Vegetation- und Laternenmodelle
- (h) Gesamtmodell

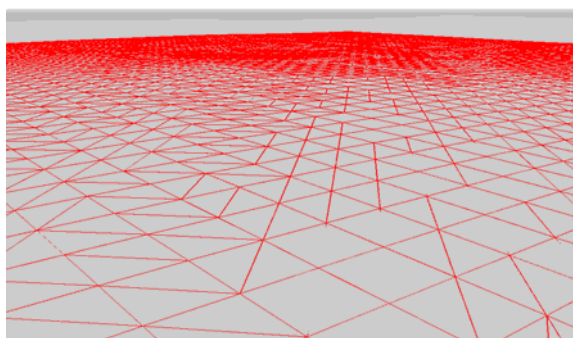
Als Orientierungshilfe sind in den beiden ersten Bildern der Standort und die Blickrichtung durch einen roten Pfeil markiert ().



(a) Ausschnitt aus der dSGK Planquadrat 7180C



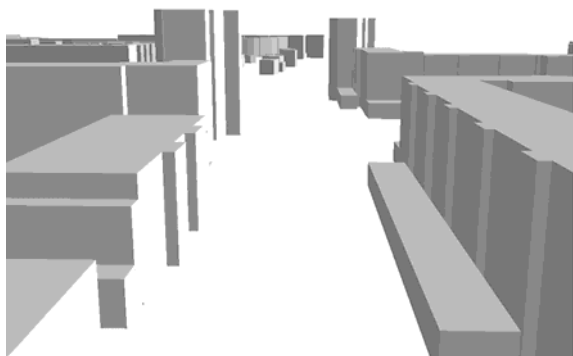
(b) Luftaufnahme für den entsprechenden Bereich



(c) Geländemodell (Geometrie)



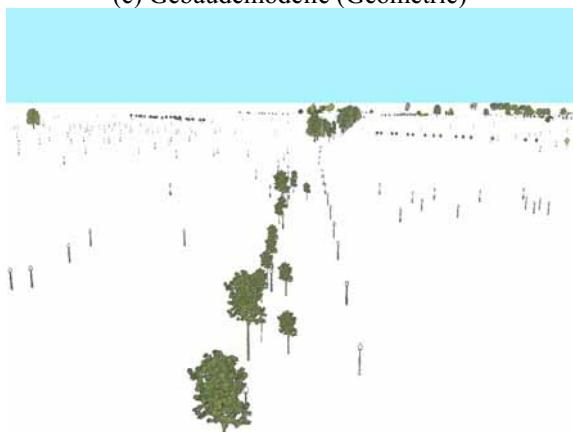
(d) Geländemodell mit Textur



(e) Gebäudemodelle (Geometrie)



(f) Gebäudemodelle mit Texturen



(g) Vegetation- und Laternenmodelle



(h) Gesamtmodell

Abbildung 58: Darstellung der Methodik anhand von Bildern im Bereich der Olvenstedter Chaussee

Abbildung 59 zeigt den gleichen Bereich nochmals aus unterschiedlichen Perspektiven, die, wie bereits in Abschnitt 2.3.2 erwähnt, einen Vorteil der Verwendung von virtuellen 3D-Stadtmodellen gegenüber herkömmlichen realen Städtebaumodellen darstellen.



(a) althergebrachte Vogelperspektive allerdings mit hohem Detailgrad



(b) Fußgängerblick nach Nord-Westen

Abbildung 59: verschiedene Perspektiven

Das bisher verwendete Modell ermöglicht eine weitgehend automatische Anwendung der vorgestellten Methoden. Im Folgenden werden an einigen Details Schwierigkeiten und deren Lösungen aufgezeigt, die eine manuelle Bearbeitung nach sich ziehen bzw. werden Details vorgestellt, die im Gesamtzusammenhang nur schwer zu erkennen sind.

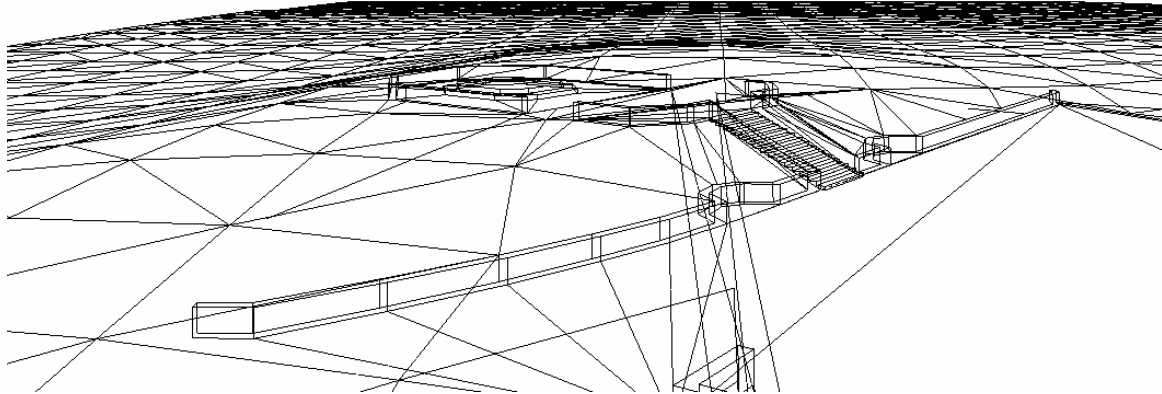
5.1 Terrainmodelle

Das in Abbildung 60, S.90 gezeigte Geländemodell bedurfte einer manuellen Nachbearbeitung in der Topologie, da die Treppenanlage nicht in den aus der dSGK zu generierenden Daten enthalten war. Für die manuelle Modellierung wurde die Software *MultiGen®* der Fa. Multigen Paradigm, Inc. verwendet.

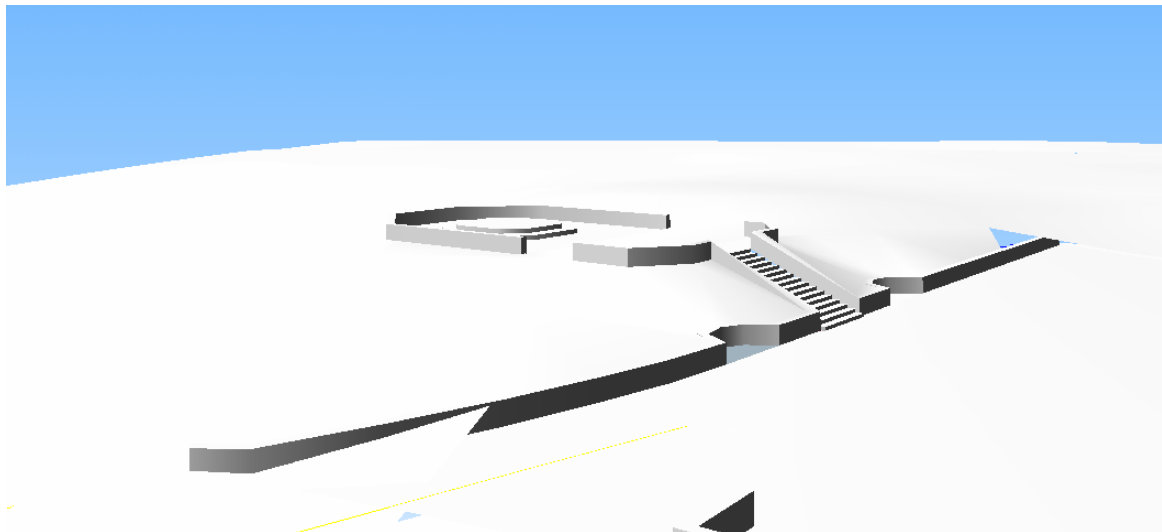
5.2 Bauwerksmodelle

Im Folgenden sind zwei Ergebnisse der systematischen Erzeugung von Fassadentexturen zu sehen (siehe Abbildung 61, S.91). Es wird jeweils das Texturmuster dargestellt sowie das Aussehen der mit den entsprechenden Texturen aus dem *Texturkatalog* versehenen Fassaden. Die entsprechende Materialbibliothek (MTL) im ASCII-Format befindet sich im Anhang E. Eine Architekturzeichnung des entsprechenden Gebäudes ist zu Vergleichszwecken in der Abbildung 62, S.91 zusehen.

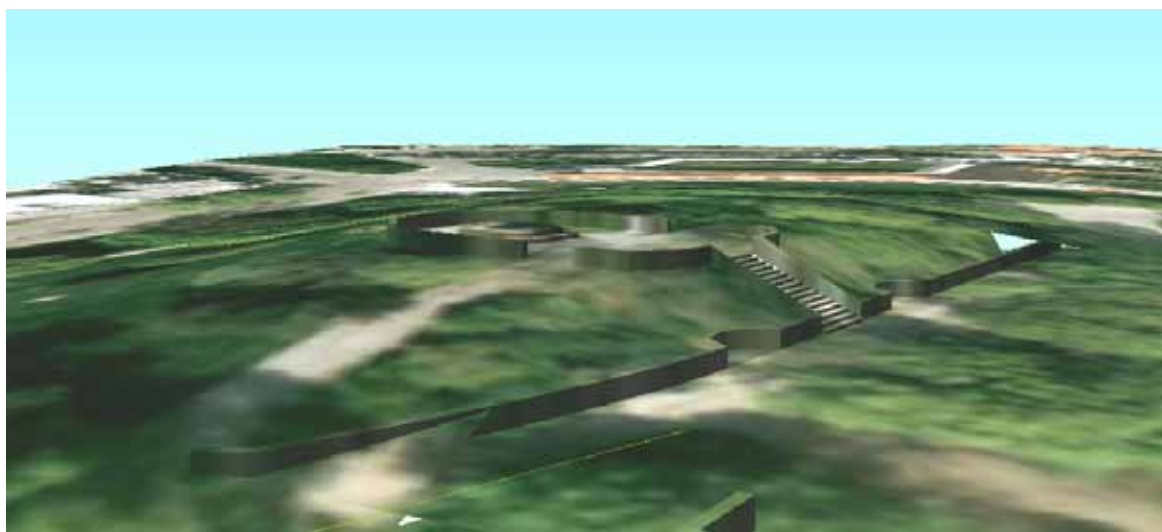
Die Schritte zum Erstellen eines gesamten Gebäudemodells werden in ihrer Reihenfolge nochmals in Abbildung 63, S.92 gezeigt. Die entsprechende Modelldatei (OBJ) im ASCII-Format befindet sich im Anhang D.



(a) Polygonkantendarstellung



(b) ohne Texturen



(c) mit Texturen (Luftbilder)

Abbildung 60: Geländemodell 7577C mit Einarbeitung einer Treppenanlage in unterschiedlichen Darstellungsweisen

gneisenauring_51_65_ungerade-1.rgb

d4l,d4o,d4m,d4l,d4o,d4m,d4l,d4o,d4m,d4l,d4o,d4n,d4n
 f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,b4a,t4p,p1f,p1f
 f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,b4a,t4p,p1f,p1f
 f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,b4a,t4p,p1f,p1f
 f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,f4n,t4s,-f4m,b4a,t4p,p1f,p1f
 f4n,t4k,-f4m,f4n,t4k,-f4m,f4n,t4k,-f4m,b4a,t4o,p1f,p1f
 k1d,NULL,k1a,k1d,NULL,k1a,k1d,NULL,k1a,k1d,NULL,k1g,k1g



gneisenauring_51_65_ungerade-2.rgb

d4m,d4o,d4m,d4o,d4m,d4m,d4l,d4o,d4l
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,-f4m,b4r,f4o,b4r
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,-f4m,b4r,f4o,b4r
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,-f4m,b4r,f4o,b4r
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,-f4m,b4r,f4o,b4r
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,-f4m,b4r,f4o,b4r
 b4s,f4k,b4s,f4k,b4s,k4c,b4r,t1c,b4r
 k1a,k1b,k1a,k1b,k1a,NULL,k1e,NULL,k1e



Abbildung 61: Auszug aus Element-zu-Fassade (*.etf) - Zuordnung und Fassadentexturen im Bereich Gneisenauring Nr. 51-65 (ungerade) in Magdeburg Neu-Olvenstedt

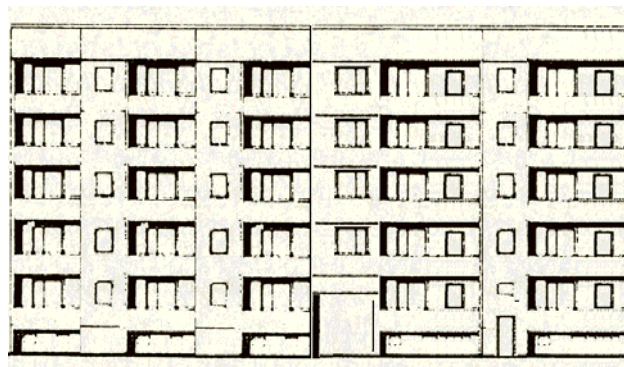


Abbildung 62: Architekturzeichnung entsprechend der Fassadentextur gneisenauring_51_65_ungerade-2.rgb

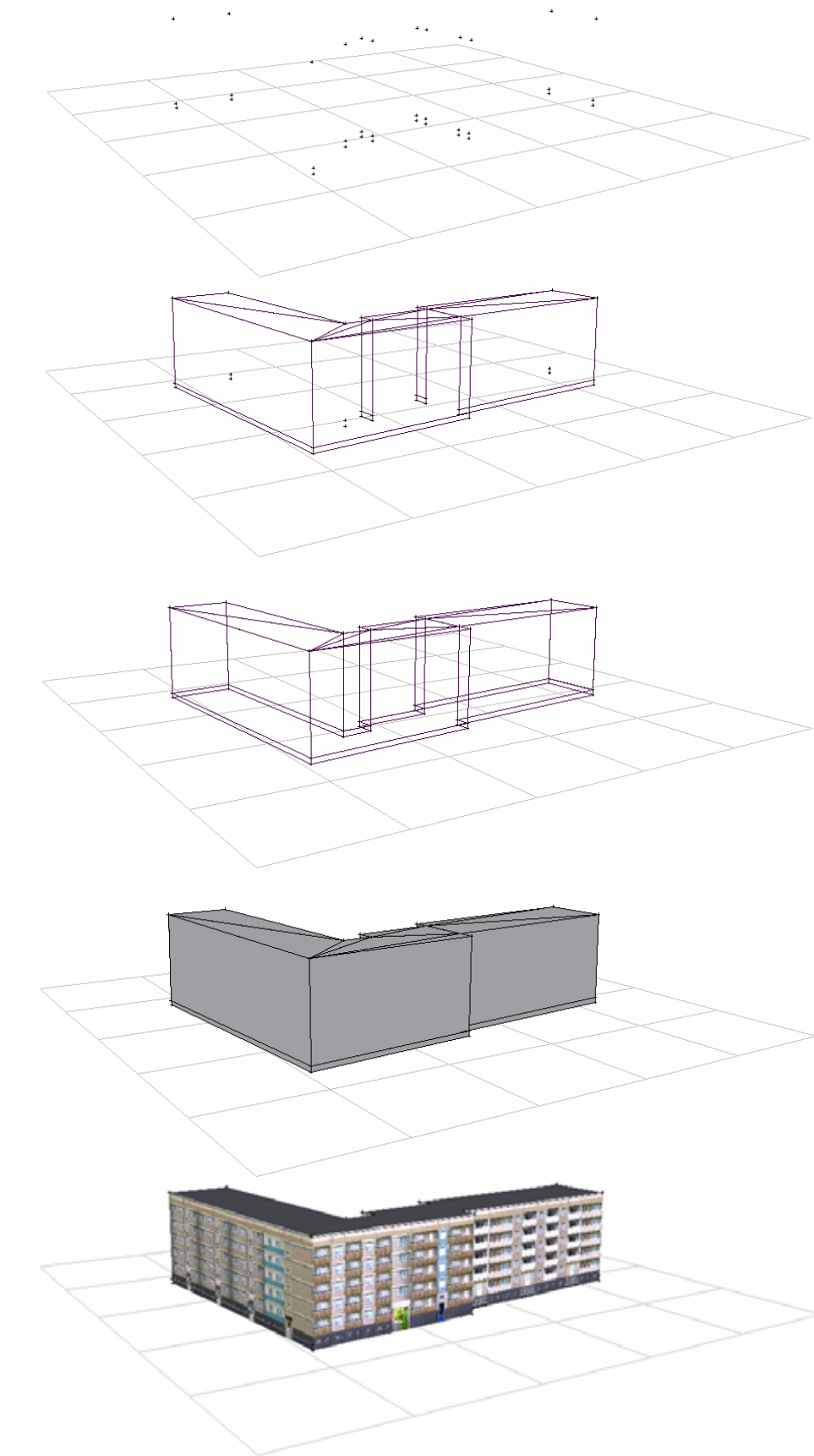


Abbildung 63: Geometrieerstellung in Serie am Beispiel Gneisenauring Nr. 51-65 (ungerade)
 von oben nach unten: Vertices, Polygone (hidden surface removal), Polygone (alle
 Flächen), *Blockmodell*, *Erweitertes Blockmodell* (texturiert)

5.3 Vegetationsmodelle

Als ein Beispiel für die Vegetation sind einige Bäume im Bereich des Magdeburger Stadtparks als raumbildende Objekte zu sehen, da diese Flächen überwiegend der Bevölkerung zur Erholung in der Natur dienen und somit wenig bebaut sind (siehe Abbildung 64).



Abbildung 64: Visualisierungsergebnis Bäume als raumbildende Objekte

Im Weiteren ist die Funktionsweise der Darstellungstechnik Billboard zu sehen, die für Baum- und Laternenmodelle verwendet wird. Aus der Vogelperspektive ist die Verwendung eines „flachen“ Modells zu erkennen. Aus der Sicht des Fußgängers wirkt das Modell detailreich und dreidimensional (siehe Abbildung 65).

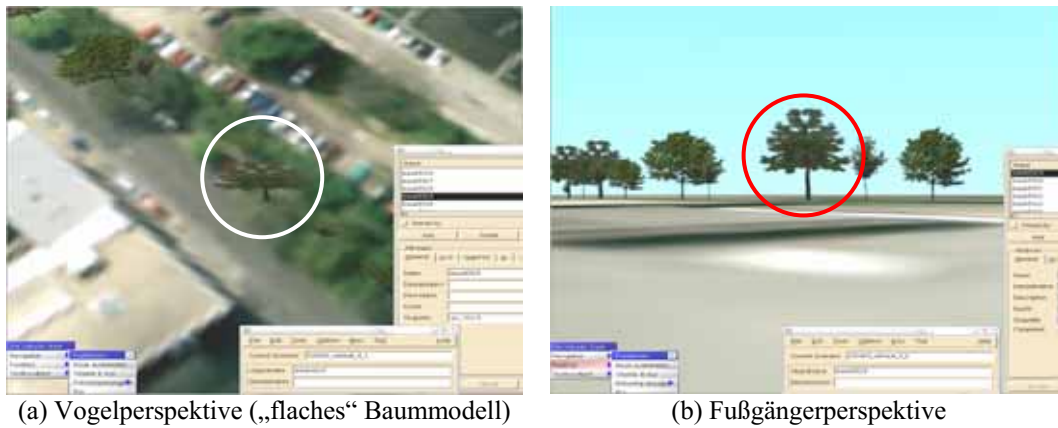
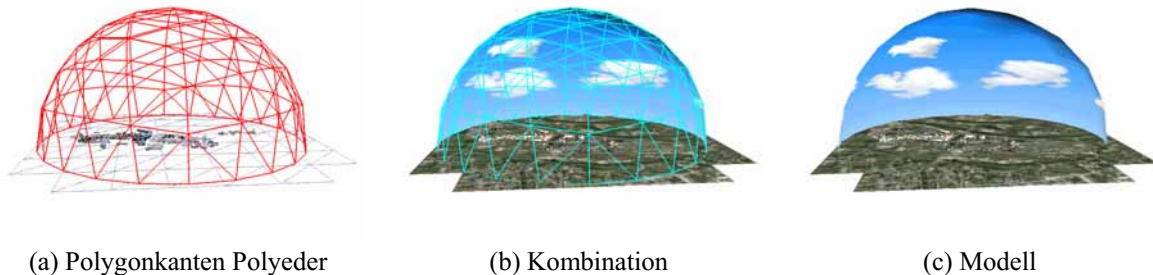


Abbildung 65: Baum der laufenden Nummer 5929 mit Billboarddarstellungstechnik;
Visualisierungssystem VDT-Technologie

5.4 Weitere Modelle

In der Abbildung 66 ist die Realisierung der Atmosphäre anhand einer Bilderserie dargestellt. Eine Problematik stellt hierbei der gekrümmte Horizont dar, der jedoch durch die Ergebnisse aus dem Blickwinkel der Fußgänger wettgemacht wird. Die Himmelskuppel und die Geländemodelle der jeweiligen Planquadrate (Q500) umschließen die sonstigen Modellbestandteile im Ganzen, so dass auf einfache Weise eine Kollisionsdetektion implementiert werden kann (siehe Abschnitt 3.1).



(d) Detail: Vogelperspektive / Horizontproblematik

(e) Detail: Fußgängerperspektive

Abbildung 66: Himmelskuppel

Als eine ergänzende Maßnahme zur Förderung der Immersion für ein 3D-Stadtmodell erwiesen sich die sonstigen Modelle, wie z.B. die Mobilien. Diesbezüglich ist im Weiteren eine Straßenbahn des Typs Niederflurbahn NGT8D der Magdeburger Verkehrsbetriebe in verschiedenen Ansichten veranschaulicht (siehe Abbildung 67).



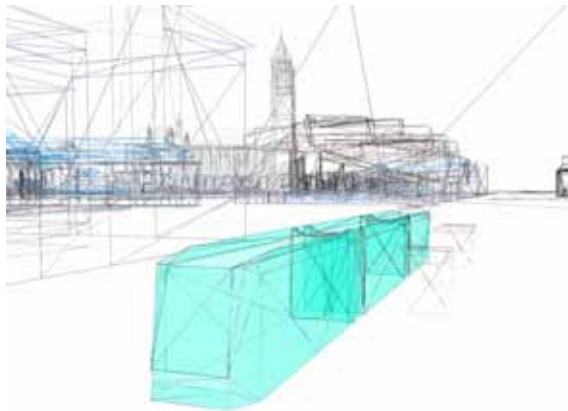
(a) Vogelperspektive (Markierung)



(b) Detail: Perspektivansicht



(c) Detail: Straßenbahngelenk



(d) Polygonkantenmodell mit Selektion



(e) Texturmodell / Straßenbahnhaltestelle

Abbildung 67: Straßenbahn im Bereich der Magdeburger Altstadt / Breiter Weg (südlich)

5.5 3D-Stadtmodelle

Das Datenvolumen der 3D-Stadtmodelle Magdeburg Altstadt und Neu-Olvenstedt ist der folgenden Statistik zu entnehmen (siehe Tabelle 4).

<i>VR-3D-SM</i>	<i>Neu-Olvenstedt</i>	<i>Altstadt</i>
<i>Fläche:</i>	10,5 km ² X=6,Y=7 (in Q 500) = 42 * Q 500	12,25 km ² X=7,Y=7 (in Q 500) = 49 * Q 500
<i>Gebäude:</i>	~250 Komplexe bzw. ~1.400 Gebäude	~200 Komplexe
<i>Bäume:</i>	~3000	~6800
<i>Laternen:</i>	~2000	~4000
<i>Texturspeicher:</i>	~1487MB (32PpM)	~529MB (32PpM)
<i>Polygonanzahl:</i>	~0.45 Mill.	~1.1 Mill.
<i>Objekte:</i>	~5.290	~11.049

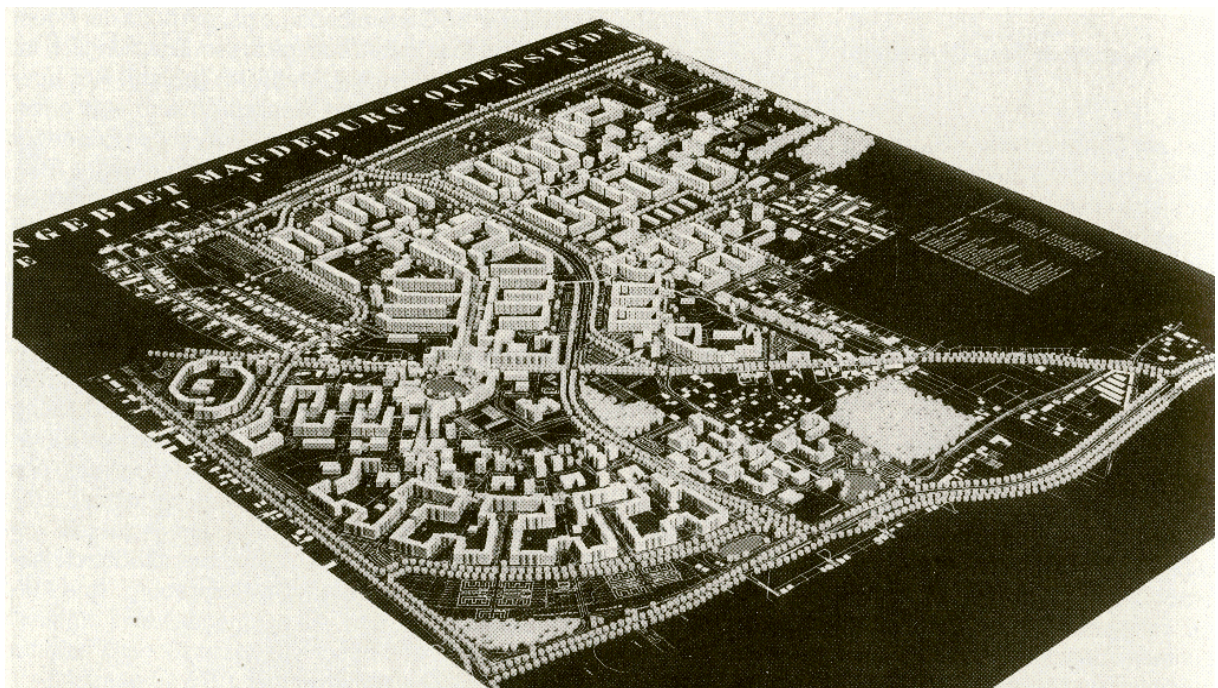
Tabelle 4: Datenvolumen der 3D-Stadtmodelle Magdeburg Altstadt und Neu-Olvenstedt

Bei der Anzahl der Gebäude handelt es sich teilweise um Gebäudekomplexe. Ein Gebäudekomplex besteht dabei aus mindestens zwei Gebäuden. Im konkreten Fall des Gebäudekomplexes Rennebogen (Mäander) in Magdeburg Neu-Olvenstedt besteht dieser aus einer Gesamtzahl von über 20 Gebäuden. Im Bereich der Altstadt kann nicht eindeutig definiert werden, um wie viele Gebäude es sich handelt. Der Grund hierfür liegt in der baugeschichtlichen Entwicklung, so dass teilweise Gebäude nahtlos ineinander übergehen. Der berühmteste Gebäudekomplex in Magdeburg ist der Dom (siehe Abbildung 30, S.51).

Nachfolgend ist das 3D-Stadtmodell von Magdeburg Neu-Olvenstedt dargestellt (siehe Abbildung 68-a). Für eine Gegenüberstellung des Visualisierungsgrades ist in einer weiteren Darstellung das Stadtmodell von Neu-Olvenstedt des Büros des Stadtarchitekten aus dem Jahr 1969 abgebildet (siehe Abbildung 68-b). Hierbei handelt es sich um die Fotografie eines gegenständlichen Modells.



(a) Bild von VR-3D-Stadtmodell (2002)



(b) Modellfoto: Wohngebiet Magdeburg - Olvenstedt Leitplanung (Büro des Stadtarchitekten Magdeburg, 1969)

Abbildung 68: Modelle Magdeburg Neu-Olvenstedt, Blick in Richtung Nord-Ost

Ein Direktvergleich zwischen dem 3D-Stadtmodell der Magdeburger Altstadt und der Realität ermöglicht die nachfolgende Darstellung (siehe Abbildung 69). Teilweise sind hier auch angrenzende Bereiche mitmodelliert, wie z.B. die Stadtgebiete - Rotehorn Park, Alte Neustadt und Nordfront.



(a) Bild von VR-3D-Stadtmodell (2002)



(b) Luftbild aus der Zeitung (Magdeburger Volksstimme, 22.Juli 2002)

Abbildung 69: Blick über die Magdeburger Altstadt in Richtung Süd-Süd-Ost

Durch die letzten beiden Illustrationen der 3D-Stadtmodelle wird ein weiterer Vorteil ersichtlich. Ohne größere Umstände kann jede Betrachterposition⁴⁶ im Raum (Perspektive) eingenommen werden, selbst Unwirkliche, wie z.B. die unter der Geländeoberfläche und die innerhalb von Objekten (Gebäudeteile).

⁴⁶ point of view

5.6 VR-Stadtplanung in der Praxis

Der Einsatz des 3D-Stadtmodells von Neu-Olvenstedt, das mit der in dieser Arbeit vorgestellten Methodik entwickelt wurde, unterstützte vier Planungsbüros am praktischen Beispiel während eines gemeinschaftlichen Workshops *Die zukünftige Entwicklung des Rennebogens in Neu-Olvenstedt*, der zugleich einen Beitrag zum Bundeswettbewerb *Stadtumbau Ost* des Stadtplanungsamtes Magdeburg darstellt. Somit wird ansatzweise, die im Abschnitt 1.1 aufgestellte Hypothese, verifiziert, dass durch die Verwendung eines virtuellen Stadtmodells Planungsprozesse unterstützt und über eine interaktive städtebauliche Visualisierung Planungen leichter erarbeitet werden (siehe Abbildung 70). Die vier, ansonsten üblicherweise in Konkurrenz stehenden Architekturbüros haben in diesem Workshop mit Hilfe des 3D-Stadtmodells von Neu-Olvenstedt eine Konsenslösung erarbeitet, so dass letztlich die Erfahrungen aller Teilnehmer in einem Entwurf mündeten.



(a) Manipulation / Interaktion in üblicher Weise



(b) fortgeschrittenes *Detailmodell* zu Abbildung -a



(c) visionäre Manipulation / Interaktion - Draufsicht



(d) Vogelperspektive zu Abbildung -c

Abbildung 70: 3D-Stadtmodell als interaktives Planungswerkzeug für die VR-Stadtplanung

Als weiteres Einsatzgebiet bestätigte sich die Anwendung von 3D-Stadtmodellen zum Zwecke der Bürgerinformation (siehe Abbildung 71-a). Das 3D-Stadtmodell der Magdeburger Altstadt wurde am 3. Oktober 2002, am Tag der deutschen Einheit, im Rathaus zu Magdeburg auf der Veranstaltung „Tag der offenen Tür“ der Öffentlichkeit vorgestellt. Dabei war festzustellen, dass sich spontan Bürger zu kurzen Gesprächsrunden zusammen

gefunden haben und Vorort über das Präsentierte diskutierten (siehe Abbildung 71-b). Zudem ist das große Interesse der Bevölkerung auch daran zu erkennen, dass sich spontan alle Altersschichten und politische Instanzen angesprochen fühlten (siehe Abbildung 71-c, -d).



(a) Nutzung durch Bürger



(b) Bürgerdiskussion



(c) Kinder



(d) Oberbürgermeister Dr. Trümper

Abbildung 71: Erste öffentliche Präsentation im Rathaus (3.Oktober 2002)

Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem die Methodik zur Erstellung eines 3D-Stadtmodells beschrieben und durch Beispiele belegt wurde, ist nachfolgend die gesamte Arbeit nochmals zusammengefasst und die Erkenntnisse dargelegt. Auf Grund der Erfahrungen durch die erste öffentliche Präsentation wird im Weiteren das 3D-Stadtmodell als Instrumentarium der Politik einer notwendigen kritischen Betrachtung unterzogen. Ein Ausblick auf weiterführende Forschungsmöglichkeiten schließt das Kapitel ab.

6.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit stellt sich die Aufgabe der Entwicklung einer Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der interaktiven VR-Stadtplanung.

Am Beginn einer jeden wissenschaftlichen Arbeit stehen die Grundlagenermittlung und die Planung. Diese unterteilen sich im Rahmen dieser Arbeit jeweils in eine stadtplanerische und eine computergrafische Komponente. Im Wesentlichen werden dabei die Aufgabenfelder der jeweiligen Disziplin und ihre Rahmenbedingungen geklärt, abgeschätzt und geordnet. Dabei wird aufgezeigt, wie sich diese auf die Entwicklung der beabsichtigten Methodik auswirken. Um jedoch jegliche Betrachtungsweise gründlich zu hinterleuchten, bedarf es zuvor der Klärung von Begrifflichkeiten beider Disziplinen, die dementsprechend vorzufinden sind. Anschließend ist ein Forschungs- und ein Aufgabenfeld, die VR-Stadtplanung, in seinen Grundzügen definiert, auch mit dem Ziel, die Schnittstelle zwischen der Computervisualistik und der Stadtplanung aufzuzeigen. Um dementsprechend Anforderungen und Bedürfnisse abzustecken bzw. zu erkennen, wurde eine Recherche auf dem Gebiet der Stadtplanung und -forschung durchgeführt. Aus Sicht der Informationstechnologie und Computervisualistik sind die Ergebnisse der Recherche und deren Realisierungsmöglichkeiten abgesteckt und beleuchtet. Dabei ist festzustellen, dass die Höhe der Aufwendungen bei der Erstellung eines 3D Stadtmodells vom Ziel der Nutzung abhängt, dass computertechnische Voraussetzungen gegeben sind und dass die Entwicklung von automatisierten Modellerstellungen in dem Gebiet der VR-Stadtplanung erst am Anfang steht. Im Ergebnis mündet die Mittlung der

beiden Disziplinen in einer Auswertung bzw. Anforderungsmatrix für ein 3D-Stadtmodell im Sinn der VR-Stadtplanung.

Wie erwähnt, befindet sich dieses Forschungsgebiet erst am Anfang seiner Entwicklung. Zurzeit gibt es nur sehr wenige Informationsquellen und verwandte Arbeiten, die sich intensiv mit diesem Thema auseinandergesetzt haben und gegenwärtig auseinandersetzen. Dementsprechend werden im Verlauf dieser Arbeit verwandte Projekte und deren Realisierung untersucht, hinterfragt und ausgewertet. Zum Teil verlassen diese vorgestellten Arbeiten weit den Pfad dieser Arbeit, zeigen aber gerade damit zusätzlich interessante Perspektiven der synthetischen Welt auf und beschreiben somit vergleichbare Problemstellungen und Schwierigkeiten. Diesbezügliche Lösungskonzepte und Hintergrundinformationen sind von grundlegender Relevanz für die Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zwecke der VR-Stadtplanung. So werden virtuelle Projekte, wie die realen Städte Vancouver und Straßburg genauso wie eine Prozedur zur Erstellung von nichtrealen Städten, untersucht. Erkenntnisse daraus sind, dass es gute Lösungsansätze, vielerlei Möglichkeiten und Innovationen zur Erstellung bzw. Nutzung von 3D-Stadtmodellen gibt, jedoch keine, die den Anforderungen im definierten Sinn der VR-Stadtplanung dieser Arbeit genügen. Lediglich die Ergebnisse der nichtautomatisierten fotogrammetrischen Erfassung von Gebäuden reichen an den beabsichtigten Detailgrad heran und weisen zugleich eine sehr hohe Genauigkeit auf, die mit Blick auf das spätere Einsatzgebiet eines 3D-Stadtmodells von immenser Wichtigkeit ist. Der wohl höchste Detailgrad, der u. a. unmittelbar den Grad der Immersion bestimmt, ist in der Computerspieleindustrie zu finden. Für die Klärung und Konzeption der Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung können hier wesentliche Methoden abgeleitet werden. Im Ergebnis der Auswertung relevanter verwandter Arbeiten ist festzuhalten, dass eine Kombination aller vorgestellten Arbeiten ein idealer Ansatz für eine automatisierte Generierung eines 3D-Stadtmodells ist. Eine weitere Betrachtung im Bereich der VR-Produktionstechnologie erwies, dass diese bereits einige Entwicklungsschritte weiter ist, so dass diesbezüglich entwickelte Methoden und Realisierungsmöglichkeiten benutzt werden können und sollten. Die Grunderkenntnis sagt aus, dass eine virtuelle Stadt im Prinzip ein virtuelles Produkt ist.

Der Kern der Arbeit beschreibt auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse eine Methodik zur Erstellung einer virtuellen Stadt zum Zwecke der interaktiven VR-Stadtplanung. Untersetzt ist diese anhand einiger praktischer Beispiele. Des Weiteren werden der zu erwartende Datenaufwand bzw. die hardwaretechnischen Voraussetzungen für eine gesamtstädtebauliche Visualisierung abgeschätzt. Dabei ist eine der grundlegenden Entscheidungen die Festlegung der Bestandteile, aus denen ein virtuelles Stadtmodell besteht. Hierbei erweist sich die Orientierung an der Realität als förderlich, d.h. im Einzelnen können die Modellbestandteile und -informationen, wie Gelände, Gebäude, Vegetation, Atmosphäre usw. direkt aus der Wirklichkeit bzw. aus diversen anderen städtisch gepflegten Datenquellen entnommen und somit methodisch erstellt bzw. eingespeist werden. Darüber hinaus sind in Spezialfällen gesondert Daten zu gewinnen.

Alle Modelle einer virtuellen dreidimensionalen Stadt sind zur Erhöhung ihres Detailgrades mit Texturen aus Realfotos versehen. Die Gebäudemodelle erhalten ihre Fassadentexturen direkt (Foto) oder indirekt (*Texturkatalog*) aus der Realität (Ist-Zustand) oder aus Entwürfen (Soll-Zustand). Die dazugehörigen Dächer bzw. das Terrain erhalten ihre Texturen direkt aus den jeweiligen Luftbildern. Texturen für die Vegetationsmodelle sind aus Vegetationskatalogen bzw. aus Fotos zu entnehmen. Texturen, die darüber hinaus benötigt werden, sind meist direkt mittels Fotografie zu gewinnen.

Für die Gewinnung der Geometrie von Modellen gibt es drei wesentliche Quellen. Die Wichtigste ist die digitale Stadtgrundkarte (dSGK). Ihre Daten beinhalten die meisten

Grundlagen zur Erstellung der Gebäudemodelle. Eine weitere Datenquelle ist das digitale Baumkataster (dBK), in dem nahezu alle Bäume topografisch mit ihren botanischen Attributen erfasst sind. Für eine wirklichkeitsgetreue Visualisierung ist noch das Gelände realitätsnah als geometrisches Modell zu approximieren. Hierfür steht ein digitales Geländemodell (DGM) in Form von Höhenfestpunkten (HFP) in einem Raster von zehn Metern zur Verfügung.

Sämtliche, aus diesen und anderen Quellen gewonnenen Modelle, werden am Ende zu einem gesamten dreidimensionalen Stadtmodell verknüpft. Dieses ist unter gewissen Voraussetzungen mit einer beliebigen Visualisierungssoftware zu betrachten, welche die Möglichkeit von Interaktion und Manipulation gewährleisten muss. Somit steht dieses als virtuelles Planungswerkzeug für die Stadtplanung zur Verfügung.

Im Ergebnis ist festzustellen, dass sich computergrafisch bereits heute eine komplette Kleinstadt bzw. der Stadtkerne einer Großstadt mit dem PC in einer für die Stadtplanung ausreichenden Qualität in Echtzeit visualisieren lässt. Zusätzlich hat sich die Implementierung der Hierarchie der dSGK schon während der Projektrealisierung ausgezahlt, da es im Fortgang der Erstellung des 3D-Stadtmodells zu diversen Erweiterungen im Sinne der Stadtgebietsdarstellung kam und diese leicht zu ergänzen waren.

Im Anschluss an die Beschreibung der Methodik sind einige angewandte Ergebnisse dargestellt. Sie umfassen u. a. die reinen Visualisierungsergebnisse, praktische Anwendungsergebnisse der VR-Stadtplanung in Workshops, die öffentliche Annahme durch die Bevölkerung als Informationsmedium sowie einige computergrafische Kennzahlen und technische Mengen.

6.2 Gesellschaftliche Einordnung - Allgemeine Visualistik

Die marktwirtschaftliche Auffassung der Stadtentwicklung definiert die Stadt als „Produkt“ (vgl. Steiner, 1998). Diese Aussage stützt nochmals den Befund, dass die virtuelle Stadt ein *virtuelles Produkt* ist (siehe Abschnitt 3.7). Das „Produkt Stadt“ im Städtebauwettbewerb braucht Öffentlichkeitsarbeit, in Form von Publikation im Ganzen. Gefordert sind Bilder, die sich auf ein unverwechselbares Image und realen Identitäten gründen. Um einem Verschwimmen und Angleichen der Identitäten von Städten zuvorzukommen, sind historische und emotionale Leitbilder gefragt. Bisher hat sich die Stadt weitgehend den Bemühungen, sie als erfolgreichen Verkaufsartikel zu stylen, entzogen. Dies ändert sich mit den Möglichkeiten eines virtuellen dreidimensionalen Stadtmodells, die diese Arbeit aufzeigt. Somit gilt die Botschaft „...dass die Stadt sich heute der bürgerlichen politischen Kontrolle des Gemeinwesens entzieht...“ (Steiner, 1998, S.112) nur noch zum Teil. Bedingung ist allerdings, dass ein solches Medium der breiten Masse (Bevölkerung) zur Verfügung steht. Vorbei sind somit auch die Zeiten, in denen die Stadtverwaltung eine allmächtige Stellung und omnipotente Zuständigkeit im Bereich der Stadtplanung besitzt. Die Disziplin der Stadtplanung hat die Chance demokratisch zu werden.

Um den allgemeinpolitischen Gedanken der offenen Gesellschaft nach dem Leitbild des Grundgesetzes⁴⁷ zu entsprechen, muss jede Stadtverwaltung ihr Angebot an zwei an sich widersprüchlichen Adressaten richten. Zum einen ist das die so genannte „*transnationale kapitalistische Klasse*“, repräsentiert durch die „*professionellen Nomaden*“, die Aufenthalts- und Investitionsvorhaben globalorientiert fällen. Der andere Adressat ist die „*subalterne*

⁴⁷ <http://www.bundestag.de/gesetze/gg/>

lokale Klasse“, die Bevölkerung, die kein Gemeinwohl mehr kennt, sondern ihre eigenen Interessen verfolgt (Steiner, 1998). Beide können durch ein virtuelles Stadtmodell bedient werden.

6.3 Ausblick

Die Aktualität des Themas der schwindenden Stadt und die überschaubare Zahl an Quellen, die diese Problematik grundsätzlich behandeln, zeigen, dass die Entwicklung von Stadtszenarien mit Blick auf die Diskussion über die Stadtschrumpfung und schrumpfende Städte in Ostdeutschland immer noch ganz am Anfang eines langen Prozesses steht. Die Menschen im Osten (Mittel- und Osteuropa) verdrängen, dass viele Plattenbauten nie mehr benutzt werden und leer stehen. Die Menschen im Westen (Europäische Union, vor 2004) verdrängen, dass es auch bei Ihnen in 30 Jahren so aussehen könnte, bis hin zur vollständigen „Entsiedlung“⁴⁸ der Stadt (vgl. DeGeyter, 2002). Somit öffnet sich ein neues Forschungsgebiet: Die Schrumpfung der Stadt und ihrer Bevölkerung als unbekanntes Ziel der virtuellen Stadtplanung. Die Vision ist ein virtuelles Stadtmodell weiterzuentwickeln, mit dem Ziel, ein *Regionalmodell* zu erhalten.

Bei der Nutzung des 3D-Stadtmodells für die VR-Stadtplanung bietet sich zukünftig auch das Feld der *erweiterten Kommunikation* an, mit dem einen Ziel, das räumlich verteilte Benutzer innerhalb der virtuellen Welt gemeinsam städtebauliche Variantenplanungen erarbeiten können. Die Benutzer befinden sich dabei zusammen im virtuellen Stadtmodell und nehmen sich einander durch animierte menschliche Kinematik intuitiv wahr, so dass sie gemeinsam an einer gestellten Aufgabe arbeiten können. Dabei unterliegt diese Zusammenarbeit keiner distanziellen, örtlichen und eventuell auch zeitlichen Abhängigkeit.

Das andere Ziel beschreibt die vernetzte Stadtvisualisierung, d.h. verschiedene lokal gespeicherte virtuelle 3D-Stadtmodelle können zusammenhängend dargestellt werden. Der Benutzer kann sich virtuell von Einzelmodell zu Einzelmodell innerhalb eines verknüpften Gesamtmodells bewegen. Die Einzelmodelle unterliegen dabei keiner distanziellen und örtlichen Abhängigkeit. Die Vision einer Superimposition beider *erweiterten Kommunikationsmöglichkeiten* wäre dann das Optimum.

Ein weiterer Ansatzpunkt für Forschung und Entwicklung sind die Eigenschaften der virtuellen Realität. Diese weisen bislang noch immer Mängel auf, bspw. hinsichtlich *simulierter physikalischer Gesetze*. Durch die Implementierung von Bauphysik, Bodenbeschaffenheit, Jahreszeiten (Vegetation) usw. kann der Benutzer während einer virtuellen Planung unterstützt werden, indem er darüber unmittelbar mit dem System interagiert bzw. Hilfestellung erfährt. Dementsprechend kann der Benutzer direkt mit städtebaulichen Maßnahmen auf vorliegende Gegebenheiten reagieren. Somit schließt sich eine weitere Hauptaufgabe an: die Entwicklung von angepassten *Softwarewerkzeugen* für die schnelle und einfache Erstellung von komplexen Modellen innerhalb der virtuellen Welt.

Innovativ zeigt sich zu diesem Zweck während der Bearbeitung des vorliegenden Themas das Verfahren der Erstellung von städtebaulichen Planungen durch prozedurales Modellieren (siehe Abschnitt 3.2). Gegenwärtig werden städtebauliche Planungen üblicherweise in aufwendiger Handarbeit durch Ingenieurbüros konzipiert. Somit könnte das prozedurale Modellieren von Städten ein gewichtiger Teil der VR-Stadtplanung werden, da hierdurch

⁴⁸ gebräuchlicher Begriff der in der Terminologie der Stadtplanung

entscheidend manuelle Arbeitskraft und -zeit eingespart wird, mit der Gefahr, dass sich der Mensch der maschinellen Planung unterordnet und seine Kreativität aufgibt (siehe Abbildung 72).



Abbildung 72: Kreative prozedurale Freiluftplanung? Der PC übernimmt!

Ein Weiterdenken in diese Richtung zeigt eine interessante Perspektive auf, das zukünftige Drucken bzw. Bauen. Unter dem Beitrag „*Rückkehr des Realen*“ (Die Zeit Nr. 45 / 2002) wird die Entwicklung eines *3D-Ausdrucks* präsentiert, der das Reale mit dem Virtuellen verbinden soll. Dadurch soll die Formbarkeit der digitalen Welt Einzug in die realphysikalische Welt halten. Auf die VR-Stadtplanung abgeleitet heißt das, dass die Planungsergebnisse direkt aus dem Computer in die Wirklichkeit entspringen. Die Aufgaben liegen hierbei in der Schnittstelle, wo die Informationen (Bits) auf die Realität (Atome) treffen, die eventuell durch Roboter des Bauwesens übernommen werden. Die Vision ist in der Illustration „*Delicious New York*“ zu sehen (siehe Abbildung 73).

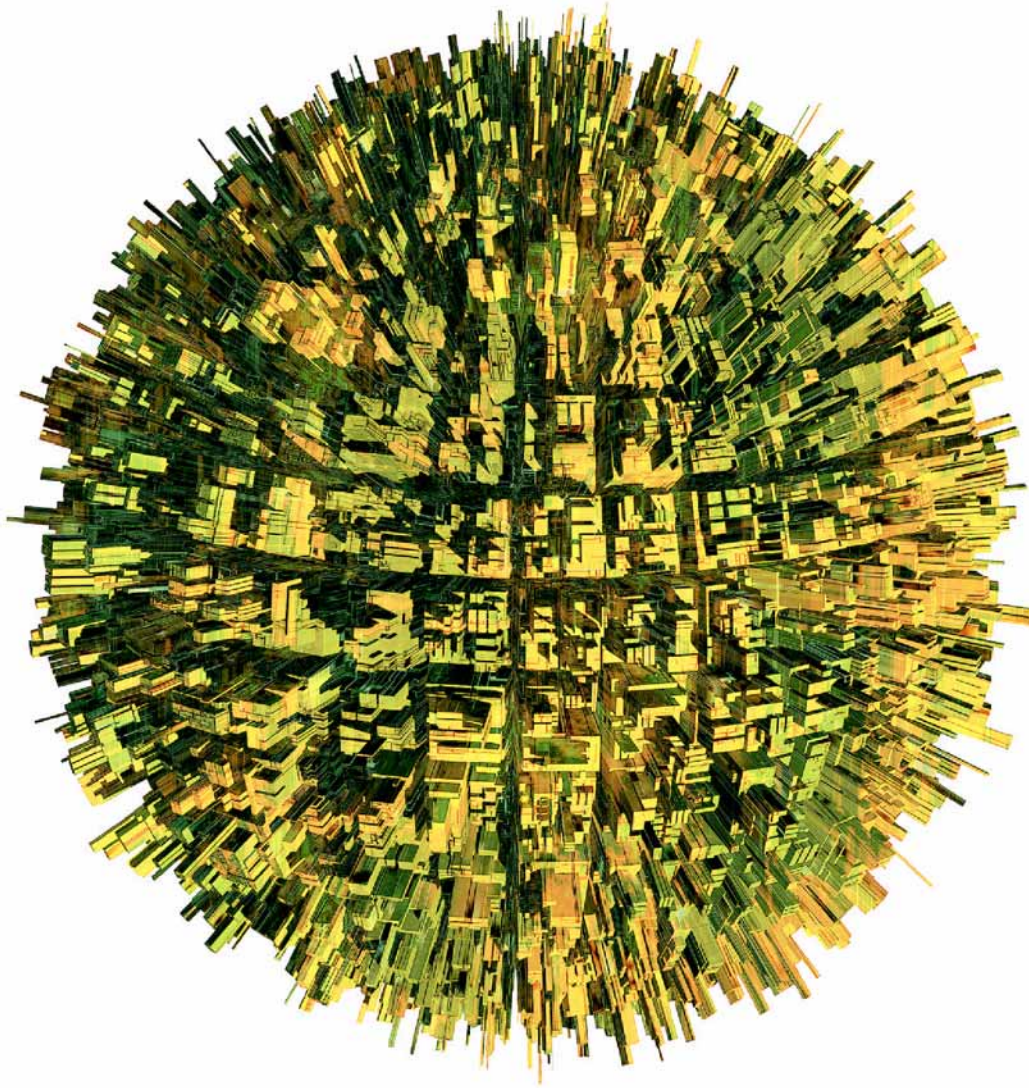


Abbildung 73: Zeitungsfoto "*Delicious New York*" (Die Zeit, Nr. 45, 2002)

Abschließend aber nicht weniger bedeutsam ist die Erforschung der psychologischen Aspekte und Wirkungen einer Stadt auf seine Benutzer, d.h. Bewohner, Besucher usw. Einem hohen Detailgrad des 3D-Stadtmodells vorausgesetzt, könnte dieses eventuell Grundlage einer Untersuchung des Einflusses von gegenwärtigen und verfremdeten Wohnvierteln auf dessen Benutzer sein. Ziel wäre, die kognitive Entwicklung und Funktionen von Menschen im Feld einer städtebaulichen Planungsvariante abschätzen und fördern zu können.

Zum Schluss lässt sich die Erkenntnis feststellen, dass genauso viele und noch mehr relevante Forschungsbereiche wie Anwendungsfelder und Einsatzgebiete für ein 3D-Stadtmodell existieren.

Literaturverzeichnis

- Albers, 1997
Albers, G.: *Zur Entwicklung der Stadtplanung in Europa - Begegnungen, Einflüsse, Verflechtungen*, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1997
- Angel, 1990
Angel, E.: *Interactive Computer Graphics, A top-down approach with OpenGL™*, Addison Wesley, Reading, Mass (u.a.), 1990
- Becker et al., 1998
Becker, H., Jessen, J., Sander, R.: *Ohne Leitbild? - Städtebau in Deutschland und Europa*, Karl Krämer Verlag, Stuttgart + Zürich, 1998
- Borchardt, 1996
Borchardt, W.: *Der Gärtner 6 - Pflanzenverwendung im Garten und Landschaftsbau*, Verlag Eugen (Ulmer), Stuttgart, 1996
- Braam, 1987
Braam, W.: *Stadtplanung: Aufgabenbereiche - Planungsmethodik - Rechtsgrundlagen*, Werner Verlag, Düsseldorf, 1987
- Brown, 1971
Brown, D. C.: *Close-range camera calibration*, In: *Photogrammetrie Engineering*, 37. Jahrgang, Heft 8, Melbourne, 1971, S.855-866
- db
BDB: *db - deutsche bauzeitung*, Deutsche Verlagsanstalt BDB, Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure e.V., Berlin, 01/1999-11/2002
- DeGeyter, 2002
DeGeyter, X.: *After-Sprawl: Research on the Contemporary City*, NAI : Rotterdam, August, 2002
- Electronic Arts, 2002
Electronic Arts GmbH: *SimCity3000®*, Aachen, 2002
- Ellinghaus, 2002
Ellinghaus T. (Redaktion): *Der Entwurf*, Magazin für das Architekturstudium, Nr.5, Stadtwandel Verlag, Berlin, 2002
- FfSV, 1978
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.): *Begriffsbestimmung - Teil Straßenplanung und Straßenverkehrstechnik*, Köln, 1978
- Foley et al., 1990
Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., Hughes, J. F.: *Computer Graphics: Principles and Practice*, 2nd Ed. - Reading, Mass. (u.a.) Addison-Wesley, 1990
- Franke et al., 2000
Franke, I., Grosche, H., Häfner, M., Borowicz, A.: *Barrierefreies Darlingerode - interdisziplinäre Diplomarbeit*, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Bauwesen + Fachbereich Sozialwesen sowie Hochschule Anhalt Abt. Bernburg, Landespflege, Magdeburg, Juni, 2000
- Gleixner et al., 1994
Gleixner G., Kranjec E., Ranzinger M.: *GIS-Daten als Grundlage für 3D Stadtmodelle*, Institut für Geographie der Universität Salzburg, Grintec, Graz 1994
In: Online Papers AGIT 95 (<http://www.sbg.ac.at/geo/agit/online95.htm> am 20.November 2002)
- Heitzinger & Kager, 1998
Heitzinger, D., Kager, H.: *High quality DTMs from Contourlines by knowledge-based classification of problem regions*, *Proceedings of the International Symposium on "GIS-Between and Applications"*, ISPRS, Vol. 32, Part 4, Stuttgart 1998
- Hillebrecht, 30/1975
Hillebrecht, R.: *Städtebau als Herausforderung - Ausgewählte Schriften und Vorträge*, Kohlhammer Verlag, Heft 30, Köln, 1975, S.157 / 158
- Hintze et al., 1999
Hintze, A., Schumann, S., Stüring, S.: *Verteilte virtuelle Trainingsanwendungen für die Ausbildung von Wartungs- und Instandhaltungspersonal* In: Deussen O., Hintze, V. Lorenz, P. (Hrsg.) *Simulation und Visualisierung '99, Proceedings der Tagung am ISG der Otto-von-Guericke-Universität am 4.-5. März 1999*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, SCS-Europe BVBA, Ghent, Belgium, 1999
- Hintze et al., 2000
Hintze, A., Schumann, S., Stüring, S.: *Interaktive Szenarien für die Ausbildung von Wartungs- und Instandhaltungspersonale* In: Schulze, T., Lorenz, P., Hintze, V. (Hrsg.) *Simulation und Visualisierung 2000, Proceedings der Tagung am ISG der Otto-von-Guericke-Universität am 23.-24. März 2000*, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, SCS-Europe BVBA, Ghent, Belgium, 2000
- Hochstrate, 1986
Hochstrate, K.: *Interaktives lösungsraumorientiertes Entscheidungsverfahren für Infrastrukturinvestitionen*, Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung der Universität Karlsruhe, Heft 19, Karlsruhe, 1986
- Hoppe, 1996
Hoppe, H.: *Progressive Meshes*, 1996 In: ACM SIGGRAPH 1996, pages 99-108
- Hugodokumentation, 2002
Hintze, A., Bernhardt, C.: *Hugo-Online-Dokumentation*, Hauptabteilung VDT, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg, 2002
- IPK, 2002
Krause, F.-L. Prof. Dr.-Ing.: *Potenziale der VR-Technik für die Produktion*, Fraunhofer Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK), Bereich Virtuelle Produktentwicklung, Berlin, 2002 In: CAD-CAM Report, München, Nr.2, 2002, S.50-56
- Klette & Koschan, 1996
Klette, R., Koschan, A.: *Computer Vision*, Vieweg Verlag, Braunschweig (u. a.), 1996
- L.Ph. ... nach HOAI §15, 2002
BAK, BDA, BDIA, BDLA.: *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure in der ab 1.Januar 2002 gültigen Fassung - Euro-Fassung 2002*, W. Kohlhammer GmbH (Verlag für Architektur/Bauwesen), 2002

- Lehmann, 2002 Lehmann, C.: *Fehlersimulation bei einem Verfahren der optischen 3D-Messtechnik*, Master's Thesis, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, 2002
- Luhmann, 2000 Luhmann, T.: *Nahbereichsphotogrammetrie: Grundlagen, Methoden und Anwendungen*, Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000
- Marschke, 1998 Marschke, L.: *Geoinformationssystem (GIS) in der Landeshauptstadt Dresden*, Diplomarbeit, Lehrstuhl Stadtbauwesen, Technische Universität - Dresden, Juni, 1998
- MfWSV, 2002 Ministerium für Wohnungswesen, Städtebau und Verkehr (LSA): *Stadtentwicklung in Magdeburg, Pressemitteilung Nr. 66/02*, Magdeburg, 2002
- Naef & Subak, 2002 Naef D., Subak S.: *Validation (outlier detection) of the Swiss Digital Terrain Model DHM25*, Thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry / Geographic Information Systems and Theory of Errors, ETH Zurich 2002, (http://www.gis.ethz.ch/teaching/thesis/semthesis_ss00_vtb6/Default_en.html am 20.November 2002)
- openGIS, 2000 openGIS Inc.: *openGIS Recommendation Paper - Geography Markup Language (GML)*, 2000 (<http://www.opengis.org> am 20.November 2002)
- Parish & Müller, 2001 Parish, Y. I. H., Müller P.: *Procedural Modelling of Cities*, Conference Proceedings, ACM Press, New York, 2001, pp. 301-308, SIGGRAPH 2001 (Los Angeles, California, USA, August 12-17, 2001)
- Peitgen et al., 1992 Peitgen H. O., Jürgens H., Saupe D.: *Chaos and Fractals*, Springer Verlag, New York + Berlin, 1992
- Phong, 1975* Phong, B. T.: *Illumination for Computer Generated Pictures*, Communications of the ACM 18, 6, pages 311-317, June, 1975
- Schilcher et al., 1998 Schilcher, M., Roschlaub, R., Guo, Z.: *Semi Automatic Derivation of 3D-City-Models from existing 2D-Geoinformationssysteme*, Tagungsband ACS '98, Fachseminar Geoinformationssysteme, 12. - 14. November 1998, Frankfurt a. Main, 1998
- Schmidt & Irrgang, 2001 Schmidt, F., Irrgang, A.: *GPS-Vermessung für GIS-Anwender - Probleme und Lösungsansätze*, Beitrag zum 4. Rostocker GPS-Tag, März, 2001
- Smith, 1988 Smith, J.R.: *Basic Geodesy : An Introduction to the History and Concepts of Modern Geodesy Without Mathematics*, Landmark Enterprises, Rancho Cordova, Calif., August 1988
- Stein, 1999 Stein, M. L.: *Interpolation of Spatial Data : Some Theory for Kriging (Springer Series in Statistics)*, Springer - Verlag, New York, April, 1999
- Steiner, 1998 Steiner, D.: *Visualisierung und Medialisierung von Leitbildern - Wie wird die Stadt verkauft?* In: Becker, H., Jessen, J., Sander, R.: *Ohne Leitbild? - Städtebau in Deutschland und Europa*, Karl Krämer Verlag, Stuttgart + Zürich, 1998
- Stevens, 1994* Stevens, R. T.: *Object-Oriented Graphics Programming in C++*, Academic Press, Boston, 1994
- Strothotte & Schlechtweg, 2002* Strothotte, T., Schlechtweg, S.: *Non Photorealistic Computer Graphics: Modeling, Rendering and Animation*, Morgan Kaufmann, San Francisco, 2002
- Tönnies, 1994* Tönnies, K. D., Lemke, H. U.: *3D-Computergrafische Darstellungen*, Oldenbourg Verlag, München (u. a), 1994
- VDT-IFF, 2002 Blümel, E., Hintze, A.: *IVS-VDT Systemdokumentation*, Hauptabteilung VDT, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg, 2002
- Wachsmuth et al., 1993 Wachsmuth I., Krüger W., Cao Y.: *Virtuelle Räume*, Manuskript-Version , Dezember, 1993, (http://www.techfak.uni-bielefeld.de/~ipke/download/Virtuelle_Raeume.pdf am 20.November 2002)
- Wendehorst, 1994 Wendehorst, R.: *Bautechnische Zahlentafeln*, 26.Auflage, B.G. Teubner Stuttgart und Beuth, Berlin und Köln, 1994
- ZfSGK, 1993 Landeshauptstadt Magdeburg, Stadtvermessungsamt: *Zeichenvorschrift für Stadtgrundkarte*, Stadt Magdeburg, Stand: 06/93 Zur Anwendung auf Intergraph - Systemen
- Ziegler, 2002 Ziegler, M.: *Untersuchung geographischer Anfragesprachen auf Basis relationaler und objektrelationaler Datenbankmanagementsysteme*, Dissertation, Technische Universität München, Geodätisches Institut, Fachgebiet Geoinformationssysteme, München, 2002, (http://www.gisl.bv.tum.de/Forschung/Promotionen/Dokumente/Ziegler_2002.pdf am 20.November 2002)

* Alle mit diesem Symbol gekennzeichneten Angaben sind Quellenangaben ohne direkte Referenzierung innerhalb der Arbeit.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf einer Planung auf Basis eines virtuellen Stadtmodells - städteplanerischer Entwicklungszyklus (vgl. Braam, 1987, S.18)	2
Abbildung 2: Plattenbautyp WBS 70, Standort Merseburg-West (Ingenieurkammer Sachsen-Anhalt, Tagungsband zum Ingenieurtag Sachsen-Anhalt 2002: <i>Ingenieurleistungen - Planen und Bauen in Sachsen-Anhalt- Der Aufbau eines stabilen Absatzmarktes für gebrauchte Betonfertigteile</i> , S.38)	4
Abbildung 3: Stadterweiterungsplan für Barcelona von Idefonso Cerdá (1859)	8
Abbildung 4: "Reformierte" Wohnblöcke mit inneren Freiflächen und auf räumliche Wirkungen gerichteter Straßenführung (Magdeburg, 1915)	9
Abbildung 5: Rahmenbedingungen und Aufgabenbereiche der Stadtplanung (Braam, 1987, S.2)	10
Abbildung 6: Responsive Workbench des Fraunhofer IPK (IPK, 2002)	12
Abbildung 7: Stadtstraßenquerschnitt	15
Abbildung 8: Mitarbeiter des Büros des Stadtarchitekten bei traditioneller Präsentation (Büro des Stadtarchitekten, Magdeburg, 1969)	15
Abbildung 9: Virtuelle Realität als interdisziplinäre Schnittstelle	17
Abbildung 10: Anwendungsbeispiele eines 3D-Stadtmodells (Schilcher et al., 1998)	18
Abbildung 11: CAD Nutzerumfrage (Ellinghaus, 2002)	22
Abbildung 12: Vancouver Stadtkarte (http://www.bctravel.com/van/downtownmap.gif) und 3D-Stadtmodell Vancouver von Solomon Wang (University of British Columbia)	25
Abbildung 13: Virtuelles Straßburg (http://www.3dvr.org/vrstrasbourg)	26
Abbildung 14: Systemarchitektur von „CityEngine“ (Parish & Müller, 2001)	28
Abbildung 15: Virtuelle Stadt bestehend u. a aus 26000 Gebäuden generiert durch „CityEngine“ (Parish & Müller, 2001)	29
Abbildung 16: Schritte zur Generierung von 3D-Modellen des Softwarepaketes <i>GO-3DM®</i>	30
Abbildung 17: Projekt <i>Wien Kagran</i> mittels <i>GO-3DM®</i>	31
Abbildung 18: Fotogrammetrische Auswertung und Modellierung mit <i>PhotoMODELLER®</i>	32
Abbildung 19: <i>SimCity3000®</i> (Electronic Arts, 2002)	33
Abbildung 20: <i>SimCity3000®</i> (Electronic Arts, 2002)	34
Abbildung 21: Produktlebenszyklus (www.uni-stuttgart.de/External/gi-rg-s/softwe.html)	36
Abbildung 22: Die <i>Responsive Workbench</i> ermöglicht die direkte Interaktion mittels Werkzeugen in einer immersiven Umgebung (IPK, 2002)	37
Abbildung 23: detaillierte Entwicklungsphasen eines Produktes	38
Abbildung 24: angestrebte Hierarchie des 3D-Stadtmodells	42
Abbildung 25: globales Lösungskonzept von den Ausgangsdaten bis zur Visualisierung	43
Abbildung 26: Ellipsoid	44
Abbildung 27: DGM in ASCII- und in höhenabhängiger Farbverlaufs-Darstellung (Krasowski-Koordinaten)	46
Abbildung 28: Luftbild 7677A (500x500m) mit perspektivischen Verzerrungen der Gebäude (Markierung)	48
Abbildung 29: 500m System der digitalen Stadtgrundkarte	50
Abbildung 30: Dom zu Magdeburg - Kreuz auf nördlicher Domspitze symbolisiert den Ursprung des lokalen Bezugssystems nach TGL (Screenshot)	51
Abbildung 31: TGL ↔ DIN Darstellungsform (vgl. ZfSGK, 1993)	52
Abbildung 32: Auszug aus der digitalen Stadtgrundkarte von Magdeburg (dSGK)	53
Abbildung 33: Detaillierungsgrad: <i>Blockmodell</i> , <i>Erweitertes Blockmodell</i> und <i>Detailmodell</i> (Schilcher et al., 1998)	56
Abbildung 34: Formatvorlage zur manuellen Gebäudeseparierung / *.pbg-Datei	57
Abbildung 35: Feldbuch (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)	59
Abbildung 36: Gebäudegeometrie (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)	60
Abbildung 37: Gebäudetexturzuordnung (Grundriss) Gneisenauring 51-65 (ungerade)	61
Abbildung 38: einfache perspektivische Bildtransformation	62
Abbildung 39: Fassadenerstellung aus Fassadenbausteinen	63
Abbildung 40: Element-zu-Fassade - Syntax der *.etf - Datei	63
Abbildung 41: Fassadenelemente - Katalog (Auszug)	64
Abbildung 42: Bäume als städtische großraumbildende Lebewesen (Borchardt, 1996)	65
Abbildung 43: Baumkatasterauszug-Universitätsplatz in Magdeburg (DGN)	67
Abbildung 44: Baummodelle im 3D-Stadtszenario	69
Abbildung 45: Baumtexturkatalog (Auszug)	70
Abbildung 46: Menge von Kleinstinventar im 3D-Stadtmodell	71
Abbildung 47: Automobil in unterschiedlichen Modell- und Farbvarianten	72
Abbildung 48: Ebene 9, 12 und 17 der dSGK Planquadrat 7677A (siehe Anhang B)	73

Abbildung 49: Laternen im Bereich Kloster Unser Lieben Frauen - Magdeburger Altstadt	74
Abbildung 50: Himmelhalbkugel (vgl. http://www.adria-yachting.com/pictures/info_pic/nav-1.jpg)	75
Abbildung 51: Strömender Wolkenverband über 3D-Stadtmodell (Markierung)	76
Abbildung 52: Höhenzuweisung am Beispiel der Magdeburger Altstadt	77
Abbildung 53: Verlängerung des Gebäudesockels	78
Abbildung 54: Basisdatenstruktur mit implementierten LoD-Knoten am Beispiel Hotel Ratswaage	79
Abbildung 55: LoD-Technik an einem Beispiel in Magdeburg	80
Abbildung 56: Texturpyramide mit Originalauflösung bzw. 32, 16, 8, 4, 2 PpM	81
Abbildung 57: Methodik zur Erstellung einer Stadtvisualisierung zum Zweck der VR-Stadtplanung	82
Abbildung 58: Darstellung der Methodik anhand von Bildern im Bereich der Olvenstedter Chaussee	88
Abbildung 59: verschiedene Perspektiven	89
Abbildung 60: Geländemodell 7577C mit Einarbeitung einer Treppenanlage in unterschiedlichen Darstellungsweisen	90
Abbildung 61: Auszug aus Element-zu-Fassade (*.etf) - Zuordnung und Fassadentexturen im Bereich Gneisenauring Nr. 51-65 (ungerade) in Magdeburg Neu-Olvenstedt	91
Abbildung 62: Architekturzeichnung entsprechend der Fassadentextur gneisenauring_51_65_ungerade-2.rgb	91
Abbildung 63: Geometrierstellung in Serie am Beispiel Gneisenauring Nr. 51-65 (ungerade) von oben nach unten: Vertices, Polygone (hidden surface removal), Polygone (alle Flächen), <i>Blockmodell</i> , <i>Erweitertes Blockmodell</i> (texturiert)	92
Abbildung 64: Visualisierungsergebnis Bäume als raumbildende Objekte	93
Abbildung 65: Baum der laufenden Nummer 5929 mit Billboarddarstellungstechnik; Visualisierungssystem VDT-Technologie	94
Abbildung 66: Himmelskuppel	94
Abbildung 67: Straßenbahn im Bereich der Magdeburger Altstadt / Breiter Weg (südlich)	95
Abbildung 68: Modelle Magdeburg Neu-Olvenstedt, Blick in Richtung Nord-Ost	97
Abbildung 69: Blick über die Magdeburger Altstadt in Richtung Süd-Süd-Ost	98
Abbildung 70: 3D-Stadtmodell als interaktives Planungswerkzeug für die VR-Stadtplanung	99
Abbildung 71: Erste öffentliche Präsentation im Rathaus (3.Oktober 2002)	100
Abbildung 72: Kreative prozedurale Freiluftplanung? Der PC übernimmt!	105
Abbildung 73: Zeitungsfoto " <i>Delicious New York</i> " (Die Zeit, Nr. 45, 2002)	106

Für alle stadtplanerischen Ausgangsdaten gilt als Herkunftsort die Landeshauptstadt Magdeburg, Stadtplanungsamt bzw. entsprechende Auftragnehmer, wie z.B. der Magdeburger Stadtgartenbetrieb.
Für alle Abbildungen ohne Quellenangabe gilt das Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) als Quelle.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungsmatrix an eine städtebauliche Visualisierung	20
Tabelle 2: ISFF Geometrieelemente	54
Tabelle 3: dBK - digitales Baumkataster und Datengehalt entsprechend in ASCII-Format (verbildlichter Auszug, vgl. Datengrundlagen des Magdeburger Stadtgartenbetriebs - MSB)	66
Tabelle 4: Datenvolumen der 3D-Stadtmodelle Magdeburg Altstadt und Neu-Olvenstedt	96

Für alle Tabellen ohne Quellenangabe gilt das Fraunhofer Institut Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF) als Quelle.

Anhang A - Gesprächspartner

Konsultanten:

- [1] *Dr. E. Peters* - Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg - Leiter
- [2] *Prof. Dr.-Ing. G. Grosche* - Hochschule Magdeburg-Stendal - Bereich Bauwesen - Prof. f. Baukonstruktion
- [3] *Dipl.-Ing. H. Grosche* - Universität Kassel - Landespflge, Landschaftsplanung, Städtebau
- [4] *Dipl.-Ing. M. Häfner* - Thüringen - Architektur und Städtebau
- [5] *Dipl.-Ing. cand. R. Suhr* - Hochschule Neubrandenburg / Fraunhofer IFF - AUT / 3D Vermessung
- [6] *Dipl.-Ing. M. Funda* - Stadtforschung und -planung - Hunger, Berlin
- [7] *Dipl.-Ing. U. Schneider* - WBG Vorstand - Wohnungsbaugenossenschaft Magdeburg Stadtfeld eG
- [8] *Dipl.-Ing. T. Erdmann* - SWM Städtische Werke Magdeburg GmbH - Key Account Management
- [9] *Herr H.-J. Bartsch* - KGE Kommunalgrund Entwicklungsträger der Landeshauptstadt Magdeburg - GmbH Urbanbeirat
- [10] *Dipl.-Ing. M. Schmidt* - Freier Architekt bei Wolfgang Noack - Berlin
- [11] *Dipl.-Ing. J. Fuchs* - Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg
- [12] *Dipl.-Ing. S. Sperling* - Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Magdeburg

Diskutanten:

- [13] *Ministerialrat T. Reitmann* - Kultusministerium Sachsen-Anhalt - Leiter des Referates Außeruniversitäre Einrichtungen
- [14] *Ministerialrat S. G. Stehli* - Kultusministerium Sachsen-Anhalt - Referatsleiter und Justitiar
- [15] *D. E. Meichsner* - Kultusministerium Sachsen-Anhalt - Referent für internationale Angelegenheiten, Bildungsinnovationen, Fernstudium und Weiterbildung
- [16] *Prof. Ing. E. Kretzler* - Hochschule Bernburg - Bereich Landespflge - Prof. f. angewandte Informatik in der Garten- & Landschaftsarchitektur
- [17] *Prof. Ing. J. Kalvelage* - Hochschule Magdeburg - Bereich Bauwesen - Prof. f. Städtebau und Dorfplanung
- [18] *Prof. Dr.-Ing. habil E. Künzel* - IFF Institut für Fertigertechnik und Fertigbau Weimar e.V. - Weimar
- [19] *Prof. Dr.-Ing. J. F. v. Heintze* - Hochschule Magdeburg - Bereich Bauwesen - Prof. f. Konstruktion und Tiefbau
- [20] *Prof. Dr. päd. W. Blömers* - Hochschule Magdeburg - Bereich Sozial- und Gesundheitswesen - Prof. f. Heil- und Sonderpädagogik
- [21] *Dipl.-Ing. T. Delius* - Fa. MoDELIUSbau - Berlin, Bremen, Mönchengladbach
- [22] *Dipl.-soz. päd. A. Borowicz* - Projektarbeit INTEGRA - Magdeburg
- [23] *Dipl.-Ing. R. Krug* - Hochschule Bernburg - Bereich Landespflge
- [24] *Dipl.-Ing. O. Menges* - Universität Kassel - Architektur, Design
- [25] *Dipl.-Ing. S. Westermann* - Stadtforschung und -planung - Hunger, Berlin
- [26] *Dipl.-Ing. T. Gaul* - Bauingenieur - MaTeGmbH - Magdeburg
- [27] *Prof. Dr.-Ing. H.-P. Wiendahl* - Universität Hannover - Institut Fabrikanlagen (IFA)

[...] laufende Nummer

Anhang B - Ebenenbelegung der dSGK

<i>Ebene</i>	<i>Inhalt</i>
1	Lagefestpunkte
2	Höhenpunkte
3	Grenzen der Verwaltungsbezirke
4	Liegenschaftsbezirke
5	Grundstücksgrenzen
6	Sonstige Grenzen
7	Grenzpunkte
8	Grenzeinrichtungen
9	Gebäude
10	Bauliche Anlagen
11	Industrieanlagen
12	Straßen und Wege
13	Einrichtungen an Straßen und Wegen
14	Sonstige Einrichtungen an Verkehrsanlagen
15	Eisenbahnverkehrsflächen
16	Einrichtungen der technischen Versorgung (allgemein)
17	Elektroenergieversorgung
18	Fernmeldeanlagen
19	Wasserversorgungsanlagen
20	Gasversorgungsanlagen
21	Abwasserableitungsanlagen
22	Kultur und Nutzungsarten
23	Gewässer
24	Geländeform
25	Höhenpunkte
26	Schraffur
27	Straßennamen
28	Hausnummern
29	Beschriftung allgemein
30	Lichtschacht
31	Straßennummer
32	Geschosszahl
33	
34	Flurstücksgrenze (neu)
35	Zeichnungsspiegel, Rahmen
36	Standangaben der Stadtkarte vor 1991
37	Standangaben der Stadtkarte nach 1991
38	Höhenpunkte
39	Höhenangaben
40	Kultur- und Nutzungsarten (Ergänzungen)
41	Bauliche Anlagen (Ergänzungen)
42	Einrichtungen an Straßen und Wegen (Ergänzungen)
43	Befestigungsanlagen
44	
45	
46	
47	Zeichnungsspiegel, Rahmen (Profile)
48	Höhenpunkte (Profilpunkt)
49	Höhenangaben (Profilpunkt)
50	Kreis zum Punkte freistellen
51	Rechteck zum Punktnummer freistellen
52	Hilfskonstruktion / Zusatzinformation
53	Hilfsebene zum Setzen von Straßenabläufen
54	
55	
56	Punktnummer aus Messwertedatei (automatische Signaturplatzierung)
57	Punkt aus Messwertedatei (automatische Signaturplatzierung)
58	Punktnummer (Profilnummer)
59	Punkt (Profilnummer)
60	Punktnummer von graphisch ermittelten Wert
61	Punkt graphisch ermittelt
62	Punktnummer aus Messwertedatei
63	Punkt aus Messwertedatei

Anhang C - Neu-Olvenstedt Szenariofile

(am Beispiel von Planquadrat 7280C / Gneisenauring 51-65 (ungerade) / Stahlbetonlaterne)
(vgl. Hintze et al., 1999; Hintze et al., 2000; Hugodokumentation 2002)

```
... V1.0
#
#
# Stadtmodell Scenario File
#
#
#
:PROPERTIES:

GROUND{
  DESCR[ object with GROUND==TRUE is ground object ]
  TYPE[ boolean ]
}

...

#
:OBJECTS:

...

7280c {
  DENOM[ ]
}
7280c_qu500 {
  DENOM[ ]
  SHAPE[ 7280c_qu500.obj ]
  PROPS[ GROUND(TRUE) ]
}
gneisenauring_51_65_ungerade {
  DENOM[ ]
  SHAPE[ gneisenauring_51_65_ungerade.obj ]
}
lat7280c {
  DEF[]
  DENOM[ ]
  DI[ ]
}
laterne_b_7280c_1 {
  DENOM[ ]
  SHAPE[ laterne_b.flt ]
}

...

#
:HIERARCHY:

...

7280c      [ 1000.0000 -1000.0000  0.0000  0.00  0.00  0.00 ]
{
  7280c_qu500      [ 0.0000  0.0000  0.0000  0.00  0.00  0.00 ]
  gneisenauring_51_65_ungerade [ 59.7649 292.0696 60.7654 0.00 0.00 0.00 ]
...
  lat7280c      [ -72000.0000 -80000.0000  0.0000  0.00  0.00  0.00 ]
  {
    laterne_b_7280c_1 [ 72230.9766 80324.6016 58.1608 0.00 0.00 0.00 ]
  }
...

#
```


Anhang D - Gebäudemodell (OBJ)

(am Beispiel vom Gneisenauring 51-65 (ungerade))

```
#.obj AHZ V1.2
#
# written as  objects/gneisenauring_51_65_ungerade.obj
# with:
#   36 vertices
#   18 texture vertices
#   0 vertex normals
#   0 lines
#   34 faces
# material:
#   7280c_roof (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-1 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-2 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-7 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-4 (../materials/7280c.mtl)
#   NULL (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-6 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-8 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-9 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-10 (../materials/7280c.mtl)
#   gneisenauring_51_65_ungerade-11 (../materials/7280c.mtl)
#
#
# g default
#-----
# vertices:

v  0.00000  0.00000  15.75000
v -50.83450 -4.17680  15.75000
v -48.21600 -36.90460  15.75000
v -45.45740 -36.69530  15.75000
v -42.37090 -73.15830  15.75000
v -30.03270 -72.23500  15.75000
v -33.09470 -35.75740  15.75000
v -35.89060 -35.96950  15.75000
v -37.00890 -21.22910  15.75000
v -40.36190 -21.48350  15.75000
v -40.81080 -15.72230  15.75000
v  0.84240 -12.10460  15.75000
v  0.00000  0.00000 -1.20000
v -50.83450 -4.17680 -1.20000
v -48.21600 -36.90460 -1.20000
v -45.45740 -36.69530 -1.20000
v -42.37090 -73.15830 -1.20000
v -30.03270 -72.23500 -1.20000
v -33.09470 -35.75740 -1.20000
v -35.89060 -35.96950 -1.20000
v -37.00890 -21.22910 -1.20000
v -40.36190 -21.48350 -1.20000
v -40.81080 -15.72230 -1.20000
v  0.84240 -12.10460 -1.20000
v  0.00000  0.00000 -2.20000
v -50.83450 -4.17680 -2.20000
v -48.21600 -36.90460 -2.20000
v -45.45740 -36.69530 -2.20000
v -42.37090 -73.15830 -2.20000
v -30.03270 -72.23500 -2.20000
v -33.09470 -35.75740 -2.20000
v -35.89060 -35.96950 -2.20000
v -37.00890 -21.22910 -2.20000
v -40.36190 -21.48350 -2.20000
v -40.81080 -15.72230 -2.20000
v  0.84240 -12.10460 -2.20000
#-----
# texture vertices:

vt  0.120  0.584
vt  0.018  0.576
vt  0.023  0.510
```

```

vt 0.029 0.511
vt 0.035 0.438
vt 0.059 0.440
vt 0.053 0.513
vt 0.048 0.512
vt 0.046 0.542
vt 0.039 0.541
vt 0.038 0.553
vt 0.121 0.560
vt 0.000 0.000
vt 1.000 0.000
vt 1.000 1.000
vt 0.000 1.000
vt 1.000 0.010
vt 0.000 0.010

```

```

#-----
# vertex normals:

```

```

#-----
# lines:

```

```

#-----
# faces:

```

```

mtllib ../materials/7280c.mtl
usemtl 7280c_roof
f 1/1 2/2 11/11
f 1/1 11/11 12/12
f 2/2 3/3 4/4
f 2/2 4/4 10/10
f 2/2 10/10 11/11
f 4/4 5/5 8/8
f 4/4 8/8 10/10
f 5/5 6/6 8/8
f 6/6 7/7 8/8
f 8/8 9/9 10/10
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-1
f 1/16 13/13 14/14 2/15
f 13/18 25/13 26/14 14/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-2
f 2/16 14/13 15/14 3/15
f 14/18 26/13 27/14 15/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-7
f 3/16 15/13 16/14 4/15
f 7/16 19/13 20/14 8/15
f 15/18 27/13 28/14 16/17
f 19/18 31/13 32/14 20/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-4
f 4/16 16/13 17/14 5/15
f 16/18 28/13 29/14 17/17
usemtl NULL
f 5/16 17/13 18/14 6/15
f 12/16 24/13 13/14 1/15
f 17/18 29/13 30/14 18/17
f 24/18 36/13 25/14 13/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-6
f 6/16 18/13 19/14 7/15
f 18/18 30/13 31/14 19/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-8
f 8/16 20/13 21/14 9/15
f 20/18 32/13 33/14 21/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-9
f 9/16 21/13 22/14 10/15
f 21/18 33/13 34/14 22/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-10
f 10/16 22/13 23/14 11/15
f 22/18 34/13 35/14 23/17
usemtl gneisenauring_51_65_ungerade-11
f 11/16 23/13 24/14 12/15
f 23/18 35/13 36/14 24/17

```

```

#-----<<<<AHZ<

```

Anhang E - Materialbibliothek (MTL)

(am Beispiel von Planquadrat 7280C speziell zum Gneisenauring 51-65 (ungerade))

```
# Material Library 7280c.mtl (created: pb_crgeo, AHZ)
```

```
newmtl 7280c_ground
Ka 1. 1. 1
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/lb7280c.rgb
```

```
newmtl 7280c_roof
Ka .1 .1 .1
Kd .3 .3 .3
```

```
newmtl KERN
Ka .2 .2 .3
Kd .2 .2 .4
```

```
...
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-1
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-1.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-2
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-2.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-7
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-7.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-4
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-4.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-6
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-6.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-8
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-8.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-9
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-9.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-10
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-10.rgb
```

```
newmtl gneisenauring_51_65_ungerade-11
Ka .3 .3 .3
Kd 1. 1. 1.
map_Kd ../textures/gneisenauring_51_65_ungerade-11.rgb
```